

UNIVERSIDAD DE CUENCA



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS A ESCALA LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE INGRESO A
REACTORES ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)”**

Trabajo de Titulación Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Civil

AUTORES:

MARÍA DEL CARMEN LOJA FAICÁN

CI: 0105357206

CAROLINA ESTEFANÍA QUEZADA VIMOS

CI: 0105715775

DIRECTOR:

ING. ANDRÉS OMAR ALVARADO MARTÍNEZ, PhD.

CI: :0102246477

CUENCA – ECUADOR

2017

RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales domésticas es una necesidad prioritaria en el país ya que los cuerpos receptores generalmente son incapaces de neutralizar la elevada carga contaminante poniendo en riesgo la salud pública. Dentro de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales, los sistemas anaerobios presentan ventajas sobre los sistemas aerobios respecto a su sostenibilidad energética y baja producción de lodos residuales; sin embargo, no se han desarrollado todavía tecnologías anaerobias con la misma eficiencia de sistemas convencionales avanzados. Los reactores de tratamiento Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), presentan una tecnología prometedora para efluentes domésticos; sin embargo, hace falta investigación. Esta investigación plantea analizar el comportamiento hidráulico de diferentes estructuras de ingreso de flujo a reactores UASB a escala laboratorio utilizando trazador fluorescente. La metodología aplicada es la del Pulso, donde la inyección del trazador al modelo laboratorio permitieron la determinación de curvas de concentración, curvas de Distribución de Tiempo de Retención (RTD) y una aproximación al régimen de flujo mayoritario. El porcentaje de masa recuperada es el parámetro indicativo para la eficiencia de las estructuras de ingreso. Con base en los ensayos realizados y a las curvas RTD obtenidas, el comportamiento hidráulico de los modelos experimentales da como resultado predominio de flujo pistón y una larga cola en la parte final de las curvas, lo cual indica zonas de estancamiento y un comportamiento final de mezcla completa, debido a bajas velocidades. Los porcentajes de masa recuperada en las tres estructuras de ingreso indicaron baja eficiencia en los modelos experimentales.

Palabras clave:

Agua residual doméstica, carga contaminante, tecnologías anaerobias, comportamiento hidráulico, estructuras de ingreso, reactor UASB, curvas de concentración, curvas RTD, balance de masa.

ABSTRACT

Domestic wastewater treatment is a priority need in the country that surface waters are unable to neutralize the high pollutant load getting public health at risk. Within the wastewater treatment technologies, anaerobic systems have advantages over aerobic systems respect to their energy sustainability and low production of residual sludge; however, anaerobic technologies have not yet been developed with the same efficiency as conventional advanced systems. The Upflow Anaerobic Sludge Blanket treatment reactors (UASB) presents a promising technology for domestic effluents; however, research is needed. This research raises the hydraulic behavior of different flow structures to UASB reactors on a laboratory scale using fluorescent tracer. The methodology applied is that of the Pulse, where the injection of the tracer in the laboratory model allowed the determination of concentration curves, curves of distribution of the retention time (RTD) and an approximation to the majority flow regime. The percentage of mass recovered is the indicative parameter for the efficiency of the income structures. Based on the tests carried out and the RTD curves, the hydraulic behavior of the experimental models of how the piston flow prevails and a long tail at the end of the curves, indicating areas of stagnation and a final behavior of complete mixing, due to low speeds. The percentages of mass recovered in the three income structures indicated low efficiency in the experimental models

Keywords:

Domestic wastewater, pollutant load, anaerobic technologies, hydraulic behavior, income structures, UASB reactor, concentration curves, RTD curves, mass balance.



ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	15
1.1 ANTECEDENTES	16
1.2 JUSTIFICACIÓN	18
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	20
2.1 ASPECTOS GENERALES DE REACTORES UASB	20
2.1.1 LIMITANTES DE SISTEMAS ANAEROBIOS	21
Baja tolerancia a tóxicos	21
Largos tiempos de adaptación	22
Post tratamiento de remoción biológica	22
2.2 PROCESOS BIOLÓGICOS EN REACTORES UASB	22
2.3 HIDRÁULICA EN REACTORES UASB	24
2.3.1 PRUEBAS DE TRAZADOR	24
Trazador	24
2.3.2 MÉTODO DE INYECCIÓN DE TRAZADOR	24
2.3.3 BALANCE DE MASAS EN UN REACTOR UASB	26
2.3.4 DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO DE RESIDENCIA (RTD)	26
2.3.5 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE UN REACTOR A TRAVÉS DEL BALANCE DE MASAS	27
2.3.6 TIPOS DE FLUJO EN REACTORES UASB	28
2.3.7 REGIMEN DE MEZCLA	28
2.4 INTERPRETACIÓN FÍSICA DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN. DETERMINACIÓN DE FLUJO DEFECTUOSO	30
2.5 DISEÑO HIDRÁULICO DEL REACTOR PILOTO	33
2.5.1 ESCALAMIENTO DEL REACTOR	33
2.5.2 CONFIGURACIÓN DE DISEÑO:	35

2.5.3	ZONAS DE ESTANCAMIENTO	36
CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS		38
3.1	DISEÑO DE MODELO A ESCALA REAL	38
3.1.1	PARÁMETROS DE DISEÑO	38
3.1.2	CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA Y CINEMÁTICA.....	39
3.1.3	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	40
3.1.4	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN DEL FLUJO EN TRES FASES	41
3.2	DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL	43
3.2.1	ESTUDIO DE SIMILITUD GEOMÉTRICA	43
3.2.2	ESTUDIO DE SIMILITUD CINEMÁTICA	44
3.2.3	DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES.....	44
3.3	CONFIGURACIÓN DE ESTRUCTURAS DE INGRESO	45
3.4	ARRANQUE Y OPERACIÓN	49
3.4.1	MATERIALES	49
3.4.2	SOLUCIONES DE TRAZADOR.....	50
3.4.3	REGULACIÓN DE CAUDAL.....	51
3.4.2	CALIBRACIÓN DEL FLUORÓMETRO.....	52
3.4.3	PARÁMETROS DE MEDICIÓN.....	53
3.4.5	PRUEBAS CON TRAZADORES FLUORESCENTES (ENSAYOS HIDRÁULICOS).....	54
3.5	EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO	55
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		56
4.1	CALIBRACIÓN DE EQUIPOS.....	56
4.1.1	CALIBRACIÓN DE BOMBA PERISTÁLTICA	56
4.1.2	CALIBRACIÓN DE FLURÓMETRO	56
4.2	ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE INGRESO	57
4.2.1	ANÁLISIS DE ESTRUCTURA DE INGRESO: UNA ENTRADA LATERAL.....	57
4.2.2	ANÁLISIS DE ESTRUCTURA DE INGRESO: DOS ENTRADAS LATERALES	60
4.2.3	ANÁLISIS DE ESTRUCTURA DE INGRESO: CODO A 90°	64
4.2.4	ANÁLISIS DE PORCENTAJES VOLUMEN MUERTO Y MASA RECUPERADA.....	67



CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS	70
ANEXOS	73



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Etapas y bacterias que actúan en el proceso anaerobio.	22
Tabla 2.2. Diagnóstico de fallas en reactores. Adaptado de: Levenspiel, 1986 (Cunill et al., 2010).	32
Tabla 3.1. Resumen de parámetros y cálculos para obtención de caudal de diseño de aguas residuales.	39
Tabla 3.2. Resumen de datos geométricos, dinámicos y cinemáticos del reactor UASB diseñado.....	39
Tabla 3.3. Geometría y cinética de la campana.	42
Tabla 3.4. Geometría de los deflectores.	43
Tabla 3.5. Parámetros de similitud geométrica para el reactor piloto.....	44
Tabla 3.6. Parámetros de similitud cinemática.	44
Tabla 3.7. Volúmenes de inyección de trazador.	50
Tabla 3.8. Descripción de intervalos de muestreo.	54
Tabla 4.1. Porcentaje de volumen muerto y masa recuperada correspondiente a cada estructura de ingreso.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema de un reactor UASB. (Gandarillas et al., 2017)	20
Figura 2.2. Esquema de la digestión anaeróbica de materia orgánica compleja (Moraes et al., 2014)	23
Figura 2.3. Técnicas estímulo-respuesta empleadas corrientemente para el estudio del flujo en recipientes. (Levenspiel, 1987)	25
Figura 2.4. Balance de masas en un reactor. Adaptado de: von Sperling (2007).	26
Figura 2.5. Tipos de flujo. Flujo pistón, Flujos no ideales, Mezcla Perfecta. Adaptado de: Cunill et al. (2010)	30
Figura 2.6. Perfil de velocidades, descripción de trayectoria de flujo. (Cunill et al., 2010).	31
Figura 2.7. Modelo del patrón de flujo en un reactor UASB (Bolle et al., 1986).	33
Figura 2.8. Relación entre velocidad de ascenso y TRH para diferentes alturas (H: altura en m) (Chernicharo, 2007).	36
Figura 3.1. Esquema general del reactor UASB.	40
Figura 3.2. Esquema de la configuración de la campana y deflectores (De la Figura 3.1). (Los términos mencionados en la figura 3.2 se presentan en las tablas 3.5 y 3.6 con su respectivo significado)	41
Figura 3.3. Reactor a escala laboratorio.	45
Figura 3.4. Estructura de ingreso con una entrada lateral. Corte horizontal y vertical. .	46
Figura 3.5. Estructura de ingreso con dos entradas laterales. Corte horizontal y vertical.	47
Figura 3.6. Estructura de ingreso con una entrada lateral y uno codo de 90°.	48
Figura 3.7. Vista frontal y superior de la bomba peristáltica.	49
Figura 3.8. Válvulas de ingreso y muestreo.	49
Figura 3.9. Tubería de ingreso y de descarga.	50
Figura 3.10. Soluciones de Rodamina WT.	51
Figura 3.11. Curva de calibración del fluorómetro.	53
Figura 3.12. Termómetro de mercurio.	53
Figura 3.13. Fluorómetro y cubetas de muestreo.	54
Figura 3.14. Metodología de muestreo.	55
Figura 4.1. Valores que indican el radio de detección en el Fluorómetro (Turner Designs, Modelo: AquaFluor, USA)	56



Figura 4.2. a) Ingreso de Rodamina WT en el reactor, (b) Ascenso de la Rodamina en el cuerpo del reactor	57
Figura 4.3. Curvas RTD de 3 ensayos experimentales de inyección de trazador en estructura de un ingreso lateral al reactor escala laboratorio.....	58
Figura 4.4. Curvas RTD de Salidas A y B (Figura 3.3). Un ingreso lateral: Ensayo experimental 1.....	59
Figura 4.5. Curvas RTD de Salidas A y B. Un ingreso lateral: Ensayo experimental 2.	59
Figura 4.6. Curvas RTD de Salidas A y B. Un ingreso lateral: Ensayo experimental 3.	60
Figura 4.7. Ingreso de Rodamina WT en estructura de dos entradas	60
Figura 4.8. Curvas RTD de 3 ensayos experimentales de inyección de trazador en estructura de ingreso de dos entradas al reactor escala laboratorio.....	61
Figura 4.9. Curvas RTD de Salidas A y B. Dos ingresos laterales: Ensayo experimental 1.	62
Figura 4.10. Curvas RTD de Salidas A y B. Dos ingresos laterales: Ensayo experimental 2.	63
Figura 4.11. Curvas RTD de Salidas A y B. Dos ingresos laterales: Ensayo experimental 3.	63
Figura 4.12. (a) Ingreso de Rodamina WT en estructura cono a 90° (b) Ascenso de Rodamina WT en estructura cono a 90°	64
Figura 4.14. Curvas RTD de Salidas A y B. Codo a 90°: Ensayo experimental 1.	66
Figura 4.15. Curvas RTD de Salidas A y B. Codo a 90°: Ensayo experimental 2.	66
Figura 4.16. Curvas RTD de Salidas A y B. Codo a 90°: Ensayo experimental 3.	67

Yo María del Carmen Loja Faicán, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“ANÁLISIS A ESCALA LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE INGRESO A REACTORES ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, octubre de 2017



María del Carmen Loja Faicán

C.I: 010535720-6

Yo Carolina Estefanía Quezada Vimos, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“ANÁLISIS A ESCALA LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE INGRESO A REACTORES ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, octubre de 2017

Carolina Quezada Vimos

Carolina Estefanía Quezada Vimos

C.I: 010571577-5



Yo María del Carmen Loja Faicán, autora del trabajo de titulación **“ANÁLISIS A ESCALA LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE INGRESO A REACTORES ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, octubre de 2017

María de Carmen Loja Faicán

C.I: 010535720-6



Yo Carolina Estefanía Quezada Vimos, autora del trabajo de titulación **“ANÁLISIS A ESCALA LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE INGRESO A REACTORES ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, octubre de 2017

Carolina Quezada Vimos

Carolina Estefanía Quezada Vimos

C.I: 010571577-5

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más profundos agradecimientos al Ing. Andrés Alvarado Martínez, por habernos brindado su confianza, tiempo, motivación, sabiduría y soporte continuo desde el principio y a lo largo del desarrollo de esta investigación.

De igual forma, agradecemos a los Ingenieros Juan Cisneros y Felipe Cisneros, por el tiempo y guía que nos dieron para culminar este Trabajo de Titulación.

Agradecemos al Departamento de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) por la prestación de equipos para poder desarrollar este trabajo de titulación.

DEDICATORIA

A mi hija, Paula Camila por ser parte importante de mi motivación y ser el sol de mis días apoyándome siempre con su amor; a mis padres Eduardo y Carmen por la fortaleza y dedicación que me han enseñado y ser pilares de mi existencia.

A mis abuelos, Luis (†) y Esther (†) por ser mi mayor inspiración de superación y amor.

A toda mi familia por apoyarme y sentirse parte de mis logros y fracasos a lo largo de mi vida estudiantil.

A mis amigos quienes con el pasar de los años en la facultad se han convertido en parte de mi familia y que con su apoyo he alcanzado esta meta Pablo L., Martín L., Andrés P., Juan Diego T., Carolina Q., y María Paz.

María del Carmen

A mis padres, Fernando y Nancy que han sido mi fortaleza y que con su cariño han permitido que todo este camino sea más feliz y sencillo.

A mis abuelos, Rosa (†) y Vicente (†) que forjaron en mí amor y respeto por la vida. A mis hermanos y hermana, que permanecieron junto a mí y me sacaron sonrisas durante toda la vida.

A Luis, quien ha sido uno de los pilares importantes con su cariño y comprensión.

A mi tío Bolívar, quien siempre me brindo sus conocimientos y me guió con sus consejos a lo largo de estos años.

A mis amigos con los que he compartido momentos tan felices y que han llegado a formar parte de mi familia Mia L., Paz R., Ana M. y Martin L.

A todos mis familiares por su apoyo y amor incondicional.

Carolina

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La construcción de nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales es necesaria para la disminución de los procesos de destrucción de los ecosistemas y recursos naturales. Aunque la contaminación ha sido un tema abordado con más énfasis en las últimas décadas y las personas han demostrado una mayor concientización, los procesos de evacuación de desechos residuales siguen siendo los mismos en múltiples países, sin presentar alternativas eficaces que logren la disminución degenerativa de los cuerpos receptores.

Los países europeos y norteamericanos han implementado sistemas anaerobios aplicados solo para tratamiento de aguas residuales industriales (ARI) y como un post tratamiento para la digestión de lodos de sistemas aerobios. La implementación de sistemas anaerobios para el tratamiento de aguas residuales domesticas (ARD) en países de clima cálido tropical como Brasil, Colombia, México entre otros, han permitido una adaptación adecuada y resultados eficaces. (Torres, 2012)

El crecimiento poblacional determina un incremento de residuos domésticos, por lo que se requiere de nuevas tecnologías sostenible que presenten ventajas sobre los sistemas de tratamiento convencionales. Algunas de las ventajas que los reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB) presentan sobre los tratamientos de aguas residuales aerobio o convencionales, son: el ahorro y generación de energía a través de la utilización del biogás; menor costo de instalaciones; el lodo de los reactores anaerobios es estabilizado (fermentado), se genera en poca cantidad y es de fácil deshidratación-extracción y puede funcionar como una fuente nueva de material orgánico para cultivos agrícolas.

Los reactores UASB son equipos tubulares que trabajan con un flujo continuo ascendente, atraviesa la sección a todo lo largo del reactor, dentro del cual se genera microorganismos bacterianos, que son los encargados de las fases de la transformación de la materia orgánica en un medio anaerobio.

La operación de reactores UASB se basa en la degradación anaerobia de materia orgánica realizada por diversos grupos bacterianos que son de lento crecimiento por lo que es necesario garantizar tiempos de retención hidráulica (TRH) y de sólidos en el reactor (Arroyave, González, & Gallego, 2005). Estos a su vez, tienen una dependencia directa de funcionamiento con la temperatura, esto debido a la generación de microorganismos bacterianos que trabajan interactuando para la transformación de la materia orgánica en gas metano, dióxido de carbono, entre otros. El éxito del funcionamiento de un reactor UASB está por lo tanto en un diseño satisfactorio de las estructuras que determinan la hidráulica a la que estarán sometidas las tres fases dentro del reactor (sólido, líquido y gas).

En este sentido, la presente investigación busca dar respuesta a varias interrogantes respecto del funcionamiento de los reactores UASB, específicamente respecto de la

hidráulica del mismo que puede estar condicionada por la forma, posición y condiciones del ingreso del agua residual al reactor. Estas condiciones serán evaluadas experimentalmente con un prototipo a escala laboratorio.

Este estudio, al centrarse en forma específica en la hidráulica de los reactores no trabajará con ARD; los prototipos bajo estudio serán evaluados con agua potable, que, para efectos prácticos presenta características físicas (densidad, viscosidad cinemática) muy similares al agua residual. Estos reactores serán diseñados con base en un factor de escala geométrica obtenido a partir de las dimensiones reales de un reactor diseñado para el tratamiento de agua residual doméstica. Con todos estos elementos/parámetros se podrá ejecutar y analizar los resultados del desempeño de las estructuras de ingreso de los reactores a escala piloto y se determinará el funcionamiento correcto de los mismos, pero de igual forma las mejoras que se podrán aplicar para investigaciones futuras.

1.1 ANTECEDENTES

El análisis del modelo a escala laboratorio se llevó a cabo en el cantón Cuenca, en el Laboratorio de Ciencias Químicas, en el campus Tecnológico de la Universidad de Cuenca.

La ciudad de Cuenca presenta una temperatura media de 16.8°C (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017), lo cual repercutirá en el funcionamiento de los reactores anaerobios. Numerosos estudios de reactores UASB demuestran que son aplicables en zonas de clima cálido-tropical, con temperaturas no menores de los 20°C, presentando eficiencias de remoción de demanda química de oxígeno (DQO) de 65%-85% (Lettinga et al., 1983).

Múltiples estudios sobre la implementación de los reactores UASB para el tratamiento de aguas residuales se han implementado en diferentes lugares, siendo los países en vías de desarrollo los más beneficiados, debido a los bajos costos de instalación y mantenimiento que requiere este tipo de tecnologías, y los múltiples beneficios energéticos que conlleva este nuevo tratamiento de saneamiento.

Como se cita en Torres (2012),

Se destaca a Colombia y Brasil, países pioneros de Latinoamérica en implementar estos sistemas anaerobios con reactores UASB para el tratamiento de ARD, en condiciones de clima tropical: la primera planta piloto de 64 m³ fue construida en Cali, Colombia, en el año 1982 para tratar un ARD con características de agua residual diluida, habiéndose obtenido a una temperatura de 25°C resultados satisfactorios, con eficiencias de reducción de demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) mayores de 75 % (Schellinkhout et al., 1985; Lettinga et al., 1987).

Posteriormente se construyó la primera planta en escala real en Colombia, la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Vivero para una población equivalente de 20 mil habitantes (Sterling y Mora, 1998) y luego la Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga –CDMB– (Schellinkhout et al., 1985) construyó la planta de mayor escala del país con esta tecnología (población equivalente 300 mil habitantes) que en la actualidad reporta eficiencias de reducción para DBO₅ del 73 % (Aparicio, 2008). En Brasil se destacan los estudios en escala piloto adelantados por Vieira y García (1992) en un reactor de 120 m³ y Van Haandel y Lettinga (1994) en un reactor de 160 m³.

Otros países como Egipto, Islas Mauricio, China e India la han implantado a partir de los resultados latinoamericanos (Wiegant, 2001). A temperaturas mayores de 20°C y TRH entre 6 y 10 horas, se han obtenido eficiencias de reducción de 65 a 80 % de DBO y DQO y de 67 a 90 % de sólidos suspendidos (SS) (Wiegant, 2001; Foresti, 2002; van Haandel et al., 2006).

La aplicabilidad de este tipo de sistemas de tratamiento en la ciudad de Cuenca, es factible, aun teniendo una temperatura media menor a la de 20 ° C. Esto gracias a los procesos de metanogénesis producido por la descomposición de materia orgánica, misma que permite la producción de metano, utilizado como fuente de energía en el propio sistema del tratamiento anaerobio.

Los factores que pueden afectar el funcionamiento de un reactor como temperatura, presión, composición de la materia, caudal, velocidad ascensional, etc.; requieren un monitoreo continuo para determinar las condiciones adecuadas para el éxito de un sistema desde el afluente pasando por el proceso hidrodinámico y biológico hasta el efluente.

Algunas PTAR que tienen este sistema anaerobio de reactores UASB funcionando presentan falencias debido a la mala operación y/o mantenimiento, al igual que implementación de tecnologías no adecuadas. (Torres, 2012).

El presente estudio se enmarca en el proyecto de investigación “INGENIERÍA DE REACTORES ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE: CONCEPTUALIZACIÓN Y ANÁLISIS A ESCALA LABORATORIO” financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Contar con sistemas descentralizados para el tratamiento de aguas residuales presenta facilidades ante la búsqueda de la solución a la necesidad básica de saneamiento, que no se encuentra cubierta en múltiples zonas rurales. La inadecuada eliminación de ARD a cuerpos receptores los ha ido degenerando paulatinamente y la búsqueda de sistemas que cubran de manera urgente la depuración de ARD es esencial. Los reactores UASB, son una opción ante este problema, presentando múltiples ventajas sobre las otras tecnologías de tratamiento, sin embargo, se debe realizar investigación sobre las diferentes estructuras que pueden intervenir de manera positiva a la eficiencia de la hidráulica del reactor.

El control de la hidráulica en los reactores de tratamiento de aguas residuales puede ser determinante para la eficiencia global de tratamiento. La modelación numérica de los procesos de tratamiento se ha enfocado principalmente en las transformaciones biológicas-químicas, considerando únicamente el balance de masas y la estequiometría de las reacciones. Sin embargo, la geometría de los reactores, la escala, la forma y localización de entradas, salidas, deflectores, son factores trascendentales a considerar en el funcionamiento de los reactores. En el caso particular de reactores UASB, el control de la velocidad ascensional en el cuerpo del reactor y el grado de mezcla en la base del mismo son aspectos hidrodinámicos primordiales para determinar un funcionamiento eficiente de estos reactores.

El uso de reactores UASB es una alternativa asequible para el tratamiento de aguas residuales domésticas, sobre todo aplicable a poblaciones en países en vías de desarrollo, mismas que no tienen cobertura o la infraestructura que les pueden brindar sus gobernantes es limitada. Las ventajas que permiten los reactores UASB garantizan la instalación de sistemas de tratamiento de aguas residuales más sostenibles sin comprometer su eficiencia

El uso de prototipos y modelos a escala laboratorio permite obtener información controlada acerca de múltiples situaciones operacionales de los reactores y probar distintas configuraciones de los reactores previo a un escalamiento real. Así también los prototipos a escala permiten el uso de técnicas de obtención de información como los estudios de trazadores fluorescentes para una determinación precisa y detallada de las condiciones hidráulicas presentes en los reactores y la influencia que podría tener sobre la eficiencia global ciertas variaciones en las configuraciones de los mismos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento hidráulico de distintas configuraciones de un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) a escala laboratorio.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Ensamblar y operar un reactor UASB a escala laboratorio.

Describir cualitativamente y cuantitativamente la eficiencia de las estructuras de entrada y distribución del flujo en el reactor con trazadores fluorescentes.

Modelar y analizar curvas distribución de tiempo de residencia (RTD) en un reactor UASB mediante ensayos de trazadores fluorescentes.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 ASPECTOS GENERALES DE REACTORES UASB

Los reactores anaerobios de flujo ascendente, conocidos como UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor) o RAFA, son una tecnología de tratamiento de aguas residuales desarrollado por el Profesor Gatzke Lettinga aproximadamente entre 1970 y 1980 y aplicado inicialmente en Holanda (Lettinga et al., 1983).

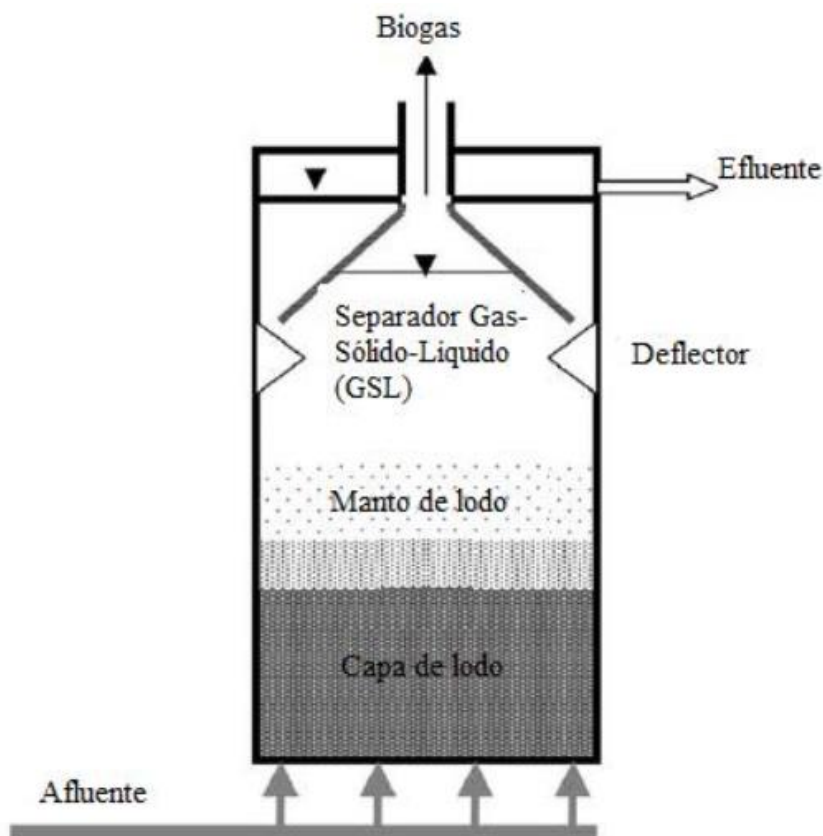


Figura 2.1. Esquema de un reactor UASB. (Gandarillas et al., 2017)

El proceso de un reactor UASB se basa en la circulación ascendente del flujo de agua residual a tratarse. El fluido ingresa por la parte inferior (Afluente) y cuando asciende atraviesa la capa de lodo donde se produce la degradación de la materia orgánica. Cuando el flujo llega al separador Gas-Sólido-Líquido (GSL), el gas se expulsa por la abertura superior del dispositivo separador GSL, las partículas sólidas se sedimentan y forman el manto de lodo, y el líquido se evacúa por la abertura entre el deflector y el dispositivo separador GSL y se dirige al efluente.

La operación de reactores UASB se basa en la degradación anaerobia de materia orgánica realizada por diversos grupos bacterianos que son de lento crecimiento por lo

que es necesario garantizar tiempos de retención hidráulica y de sólidos en el reactor. Estas bacterias forman un lodo biológicamente activo dentro del reactor mientras se tenga un buen contacto con el agua residual (Arroyave et al., 2005). Esta condición operacional y el lento crecimiento de las bacterias son consideradas como los componentes limitantes en el proceso de digestión anaerobia.

La implementación de estos sistemas se ha dado mayoritariamente en regiones con climas cálidos, esto por favorecer las condiciones de reproducción de las bacterias formadoras de metano, mientras su aplicabilidad en regiones con climas frío-templado demuestran un funcionamiento pobre o deficiente; además, considerando que sistemas convencionales de tratamiento anaerobio no cuentan con mecanismos de mezcla y calentamiento, los sistemas no admiten cargas mayores y el proceso no se describe de forma estable. Por lo tanto, para el caso de reactores UASB, estudiar la hidráulica de estos sistemas es fundamental para optimizar los procesos de tratamiento especialmente cuando las condiciones ambientales no son las ideales para el metabolismo bacteriano.

Para un efectivo desempeño hidráulico de los reactores se requiere un tiempo de retención hidráulico alto y un contacto eficiente de la biomasa, lo cual dependerá de la velocidad de ascenso, tomando en consideración que una velocidad alta puede generar mayor turbulencia y con ello una mejor mezcla de biomasa, sin embargo, se debe tener cuidado a que no se produzca el lavado del reactor. Es por ello que el estudio de un diseño adecuado, a diferentes TRH son necesarios para garantizar el mejor funcionamiento de los reactores.

2.1.1 LIMITANTES DE SISTEMAS ANAEROBIOS

Baja tolerancia a tóxicos

Aunque se realice un diseño de reactor con base en ARD, no se puede restringir las características de las aguas a las que se pueda encontrar expuesto el reactor UASB, que no presenta una tolerancia ante los tóxicos.

Entre los compuestos que causan graves problemas en el tratamiento anaerobio de agua residuales se encuentran los lípidos, destacándose entre éstos los aceites y las grasas, los cuales están presentes en residuos originados de la producción de lácteos, cárnicos y aceites comestibles. Se ha comprobado que concentraciones mayores de 150 mg/L de grasas en reactores UASB causan serios problemas en el comportamiento de éstos, debido a que son difíciles de biodegradar y aun en pequeñas cantidades, dificultan el contacto entre los microorganismos y la materia orgánica en los reactores anaerobios debido a su baja solubilidad (Broun et al., 2008).

Por otra parte, aguas residuales con alto contenido de lípidos sometidas a procesos anaerobios pueden generar cantidades significativas de ácidos grasos de cadenas largas, los cuales pueden causar toxicidad al sistema anaerobio al acumularse en la

biomasa y provocar inhibición de la oxidación y la metalogénesis e inducir el lavado de la biomasa.

Largos tiempos de adaptación

Debido a que las bacterias anaerobias tienen baja velocidad de crecimiento, solamente es posible obtener lodos con elevada actividad biológica después de un largo tiempo de adaptación. El tiempo de retención de sólidos debe ser elevado para que pueda desarrollarse una mezcla apropiada de microorganismos (Lorenzo et al., 2006).

Post tratamiento de remoción biológica

El efluente de un sistema anaerobio requiere un post-tratamiento para remoción de organismos patógenos y nutrientes, los cuales no son eliminados suficientemente en los reactores UASB.

2.2 PROCESOS BIOLÓGICOS EN REACTORES UASB

En el proceso de digestión anaerobia intervienen 4 grupos bacterianos que se detallan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Etapas y bacterias que actúan en el proceso anaerobio.

ETAPA	BACTERIA
Hidrólisis	Hidrolíticas
Acidogénesis	Fermentativas
Acetogénesis	Acetogénicas
Metanogénesis	Metanogénicas

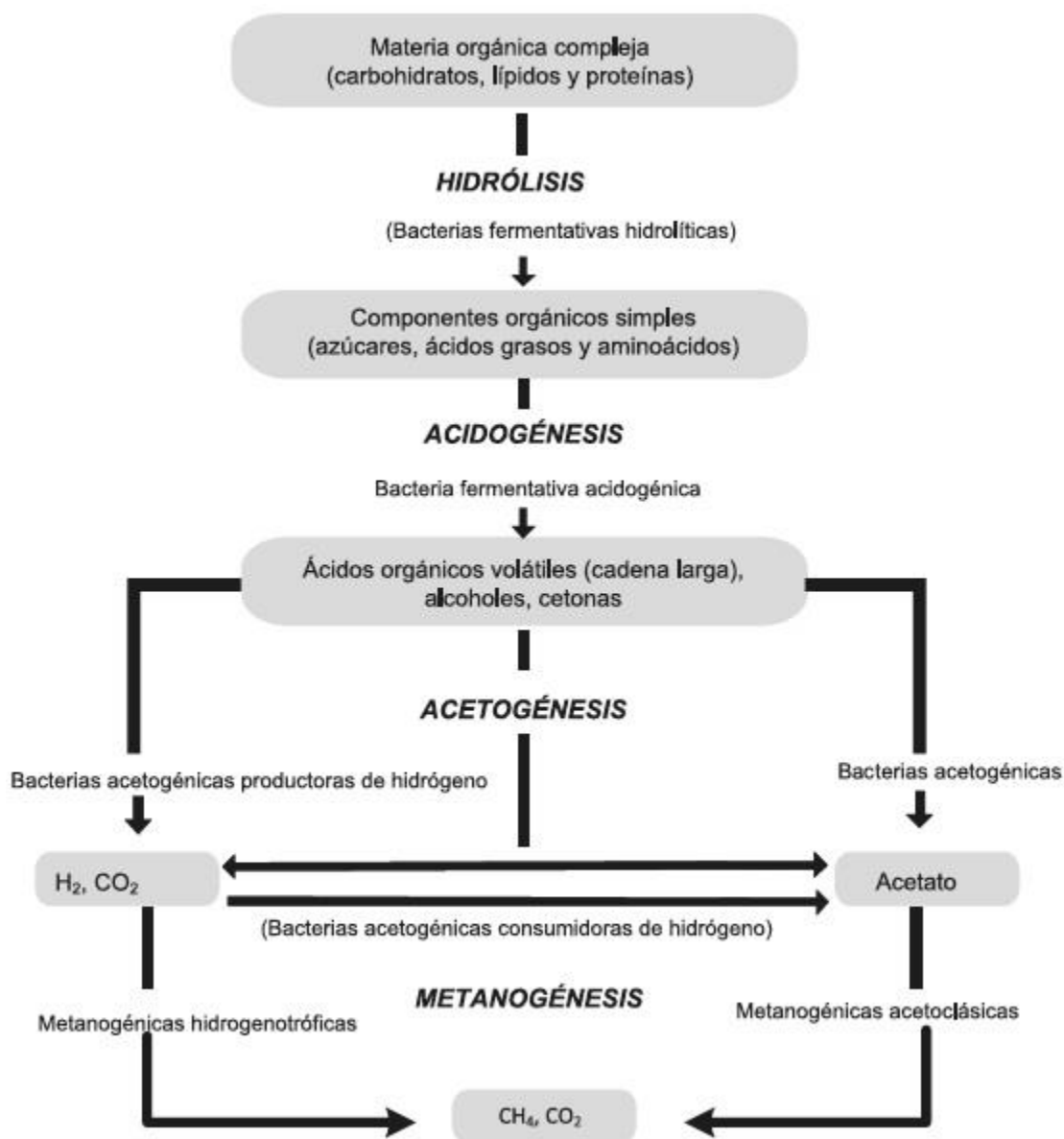


Figura 2.2. Esquema de la digestión anaeróbica de materia orgánica compleja (Moraes et al., 2014)

El gas libre y las partículas con gas adherido se elevan hacia la parte superior del reactor, y chocan con el fondo de las pantallas desgasificadoras para que el gas se libere (metano), los granos desgasificados caen de nuevo sobre la superficie del manto de lodos y el gas libre se captura en los domos localizados en la parte superior del reactor. La porción líquida fluye al sedimentador donde se separan los sólidos residuales del líquido. Esta recirculación interior de sólidos removidos permite edades de lodos prolongados y hace innecesaria la recirculación externa de lodos (Romero, 2010)

2.3 HIDRÁULICA EN REACTORES UASB

La hidráulica de un reactor UASB depende mayoritariamente de la geometría del reactor y del régimen de mezcla que es dependiente a su vez de las condiciones del ingreso y salida del agua en el reactor. El éxito de un reactor UASB consiste en lograr una alta turbulencia en el ingreso que permita un contacto óptimo del afluente con la biomasa y tener posteriormente un flujo laminar ascensional en la zona de sedimentación y de emanación de biogás.

En el presente estudio la evaluación de la hidráulica en los reactores se realizó mediante la curva de Distribución de Tiempos de Residencia (Apartado 2.3.4) resultante de ensayos experimentales de pruebas de trazador.

2.3.1 PRUEBAS DE TRAZADOR

Las pruebas de trazador, como su nombre lo mencionan, se realizan mediante la inyección de trazador en un sistema. La inyección efectuada en la entrada del sistema tiene un valor conocido de masa en un volumen. En la salida del sistema, teóricamente, se espera que la masa de trazador inyectada sea recuperada; este proceso se conoce como **balance de masas**. El procedimiento y resultado de la prueba depende también de la metodología de inyección aplicada.

Trazador

En la selección del trazador se consideran criterios como: no biodegradable para evitar adsorción en la biomasa (Rocha et al., 2000); no absorción en el biogás, estable en el tiempo y bajo condiciones del proceso (pH y potencial redox), soluble en el agua y preferiblemente con elevado peso molecular para evitar problemas por difusión, rango de concentración con respuesta lineal y buena sensibilidad. Las sustancias trazadoras pueden ser: colorantes como fluoresceína o rodamina; iones como cloruros especialmente de sodio, potasio o litio; fluoruros o nitratos; elementos radiactivos como isótopos; ácido clorhídrico o benzoico y otras sustancias químicas como alizarim, sapirol y naftol (Pérez et al., 2008).

En el presente estudio se usó el trazador fluorescente Rodamina WT.

2.3.2 MÉTODO DE INYECCIÓN DE TRAZADOR

Existen cuatro técnicas estímulo-respuesta para la inyección de trazadores: a) al azar, b) cíclica, c) en escalón, y d) de pulso.

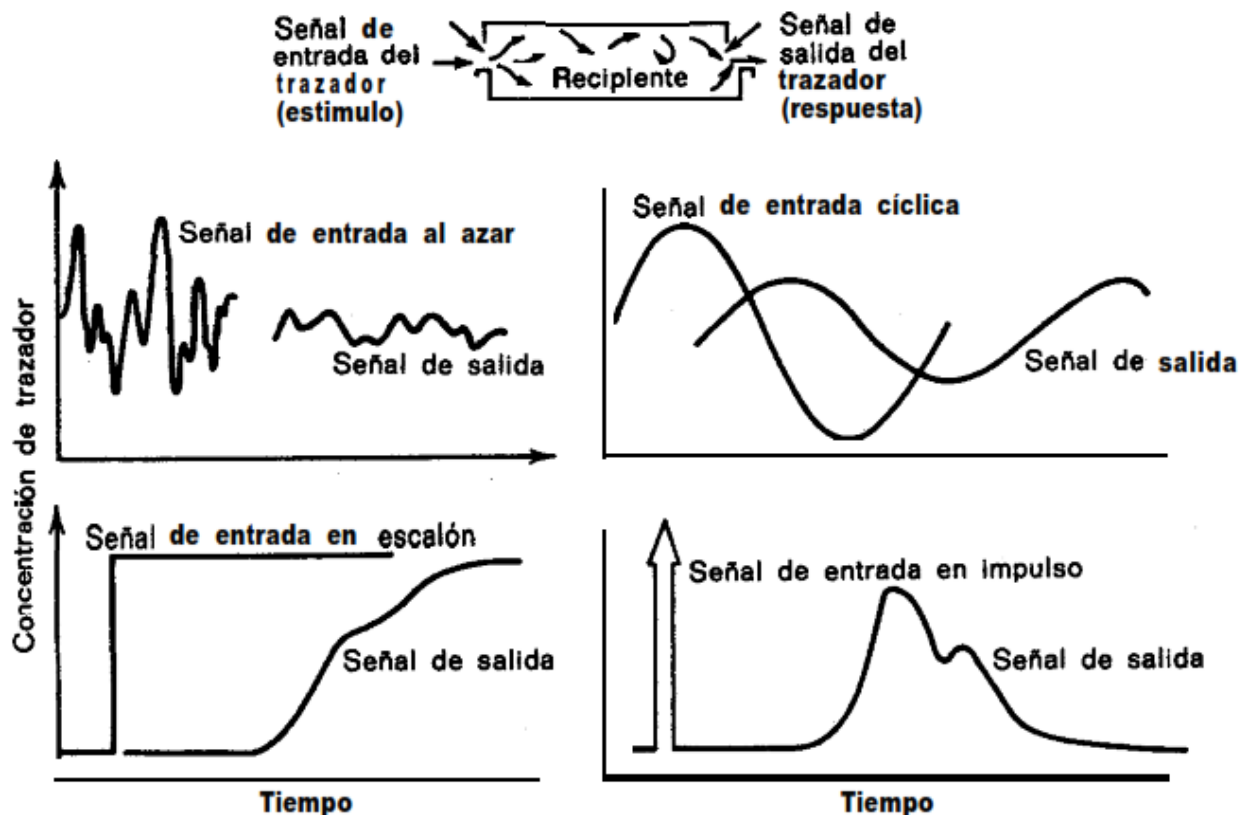


Figura 2.3. Técnicas estímulo-respuesta empleadas corrientemente para el estudio del flujo en recipientes. (Levenspiel, 1987)

Los métodos de pulso y paso son más fáciles de interpretar, pero para el caso presentado para el análisis de curvas RTD se aplicó el método del pulso. Este método describe el comportamiento del flujo a través de un reactor mediante la curva RTD o curva $E(t)$.

2.3.2.1 MÉTODO DEL PULSO

El proceso para un reactor de volumen V (m^3) con un caudal Q (m^3/s) del fluido consiste en introducir instantáneamente M unidades de trazador (kg o moles) en el fluido que ingresa al reactor, y se toman medidas de concentración-tiempo a la salida del reactor. Se obtiene como resultado la curva C de concentraciones de trazador y mediante un balance de masas se tiene que (Levenspiel, 1999):

$$\text{Área debajo de la curva } C: \quad A = \int_0^{\infty} C \, dt \cong \sum_i C_i \Delta t_i = \frac{M}{Q} \quad \left(\frac{kg \cdot s}{m^3} \right) \quad (\text{ec 2.1})$$

$$\text{Media de la curva } C: \quad \bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} tC \, dt}{\int_0^{\infty} C \, dt} \cong \frac{\sum_i t_i C_i \Delta t_i}{\sum_i C_i \Delta t_i} = \frac{V}{Q} \quad (s) \quad (\text{ec 2.2})$$

Donde:

\bar{t} : Tiempo medio de residencia del fluido dentro del reactor.

2.3.3 BALANCE DE MASAS EN UN REACTOR UASB

El balance de masas es una descripción cuantitativa de los materiales que ingresan, salen y se acumulan en un sistema con límites físicos definidos. El balance de masas se basa en la ley de la conservación de masa, es decir, la masa no se crea ni se destruye. Para un reactor UASB el balance se define por la ec 2.3 (von Sperling, 2007a).

$$\text{Acumulación} = \text{Ingreso} - \text{Salida} + \text{Producción} - \text{Consumo} \quad (\text{ec 2.3})$$

En el contexto de esta investigación, los términos de *producción* y *consumo* se eliminan puesto que no se realiza ningún tipo de digestión de materia sino únicamente una evaluación hidráulica con trazador. Entonces:

$$\text{Acumulación} = \text{Ingreso} - \text{Salida} \quad (\text{ec 2.4})$$

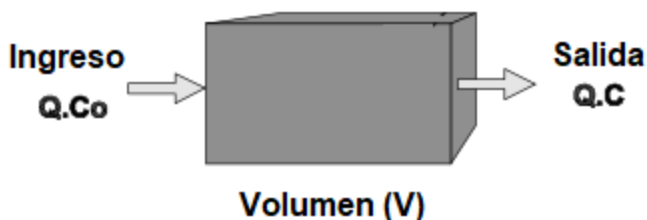


Figura 2.4. Balance de masas en un reactor. Adaptado de: von Sperling (2007).

2.3.4 DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO DE RESIDENCIA (RTD)

La Distribución del Tiempo de Residencia (RTD) se resume en una curva producto del monitoreo de las concentraciones de trazador obtenidas en el efluente. La curva RTD muestra el TRH real obtenido respecto al teórico, además de la obtención del volumen de zona activa y zona de estancamiento dentro del reactor.

El TRH indica el tiempo teórico que los elementos de un fluido permanecerían en el reactor. Este tiempo se diferencia del TRH real de todos los elementos del fluido el cual puede ser diferente dependiendo de las rutas de flujo que estos sigan y las características de mezcla del reactor (Grady et al., 2011)

Para obtener la curva de RTD o curva $E(t)$, es preciso normalizar la distribución de concentraciones $C(t)$. Para ello se divide los datos de concentración por el valor del área bajo la curva

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t)dt} \quad (\text{ec 2.5})$$

Donde:

$E(t)$: Función de RTD (seg^{-1})

$C(t)$: Concentración de trazador medido experimentalmente (ppb)

2.3.4.1 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE UN REACTOR A TRAVÉS DE LA CURVA RTD

El análisis hidrodinámico para la determinación experimental de las funciones de distribución de tiempos de residencia con trazador puede ser por inyección intermitente o instantánea, en el presente estudio se utiliza la inyección instantánea, es decir el método del pulso. Dicho método requiere que concentraciones del trazador en el efluente sean monitoreadas al menos dos veces el tiempo de residencia.

Para una adecuada descripción de curva de RTD, se debe identificar el tipo de flujo que gobierna dentro del reactor y a partir de investigaciones previas y principios básicos tener identificado el comportamiento normal que este tipo de flujo debiera describir. La medición de los diversos parámetros que influyen (temperatura, concentración, velocidad ascensional, escala de reactor) son los que determinarán dichas curvas.

2.3.5 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE UN REACTOR A TRAVÉS DEL BALANCE DE MASAS

El valor de masa recuperada define también la eficiencia del sistema, a menor porcentaje masa recuperada existe mayor estancamiento del fluido dentro del reactor. El valor de masa recuperada (M) de trazador en el efluente se obtiene con la ec 2.6.

$$M = \int_0^{\infty} C(t)dt * Q_d \quad (\text{ec 2.6})$$

Donde:

M : Masa recuperada en el efluente (mg)

$\int_0^{\infty} C(t)dt$: Área bajo la curva de concentración vs tiempo (ppb.seg)

Q_d : Caudal de diseño (m^3/s)

El porcentaje de masa recuperada (%MR) respecto a la masa inyectada (M_o) en el sistema, se determina mediante la ec 2.7.

$$\%MR = \frac{M}{M_o} * 100 \quad (\text{ec 2.7})$$

2.3.6 TIPOS DE FLUJO EN REACTORES UASB

2.3.6.1 FLUJO INTERMITENTE

Galvis (1985) menciona que los reactores UASB operan generalmente en estado no estacionario; las concentraciones cambian con el tiempo. El flujo de tipo discontinuo o intermitente es el menos habitual y consiste en llenar la unidad y dejar un tiempo el líquido en ella mientras se produce el proceso correspondiente, que puede realizarse con o sin mezcla, vaciar la unidad y repetir el ciclo. Este tipo de flujo, en la mayoría de los casos correspondientes a residuos domésticos, no es habitualmente practicado pues generalmente los procesos en una planta de tratamiento son de flujo continuo, salvo que el proceso de tratamiento en sí exija la discontinuidad, o se trate de experiencias piloto o pruebas de laboratorio.

2.3.7 REGIMEN DE MEZCLA

2.3.7.1 MEZCLA COMPLETA

Esta simplificación en el análisis hidráulico considera idealmente que el afluente se encuentra en mezcla completa al instante de ingresar al reactor, por lo que las concentraciones son iguales a las de la corriente de salida. Se considera que la velocidad de reacción para cualquier punto dentro del reactor es la misma y suele evaluarse a la concentración de salida (Galvis Castaño et al., 1985).

Sin embargo, en condiciones normales de operación de un reactor de mezcla completa, existe una distribución de tiempos de residencia de dos tipos:

Un elemento del fluido puede moverse directamente desde la entrada a la salida y puede generar un tiempo de residencia muy corto

Un elemento del fluido puede participar en el movimiento de reciclado, producto de la agitación, y por lo tanto presentar un tiempo de residencia largo.

2.3.7.2 FLUJO PISTÓN

Trabaja en estado estacionario (las propiedades del reactor son constantes en el tiempo). Se describe como aquel en el que todas las partículas de fluido que entran a la unidad permanecen en ella el mismo tiempo. De esta manera, los elementos de fluido pasan a

través del sistema y son descargados en la misma secuencia en que fueron introducidos y no hay ningún tipo de mezcla entre el fluido que ingresa y el fluido que está en la unidad, describiéndolo como un flujo ideal.

No existe mezclado axial del fluido dentro del reactor. Las propiedades del fluido, incluyendo la velocidad del flujo, en el plano radial son uniformes. Esto puede lograrse si existe un mezclado completo en esa dirección. La densidad de las corrientes puede cambiar en la dirección del flujo.

2.3.7.3 MODELOS DE FLUJO NO IDEALES.

El modelo de flujo real de todo recipiente de proceso estará lógicamente entre los dos extremos ideales, flujo en pistón (ausencia de mezcla) y mezcla perfecta (mezcla completa). Para cuantificar la curva $E(t)$ se usan diferentes modelos según el grado de desviación que se presente respecto a los modelos ideales. Dicho grado de desviación se cuantifica mediante la varianza de la curva $E(t)$ (Cunill et al., 2010).

2.3.7.4 MODELO DE DISPERSIÓN.

Este modelo sirve para representar las ligeras desviaciones del flujo en pistón, situación cuya realidad física corresponde a:

- i. Flujo turbulento en tubos
- ii. Flujo laminar en conducciones largas de fluidos poco viscosos
- iii. Lechos de relleno
- iv. Canales largos

El modelo de dispersión consiste en el modelo ideal de flujo en pistón al que se superpone un cierto grado de difusión axial/longitudinal, es decir, de retromezcla. El modelo no es aplicable si hay zonas muertas, cortocircuitos o difusión radial (en consecuencia siempre el tiempo medio nominal coincide con el observado (Levenspiel, 1987).

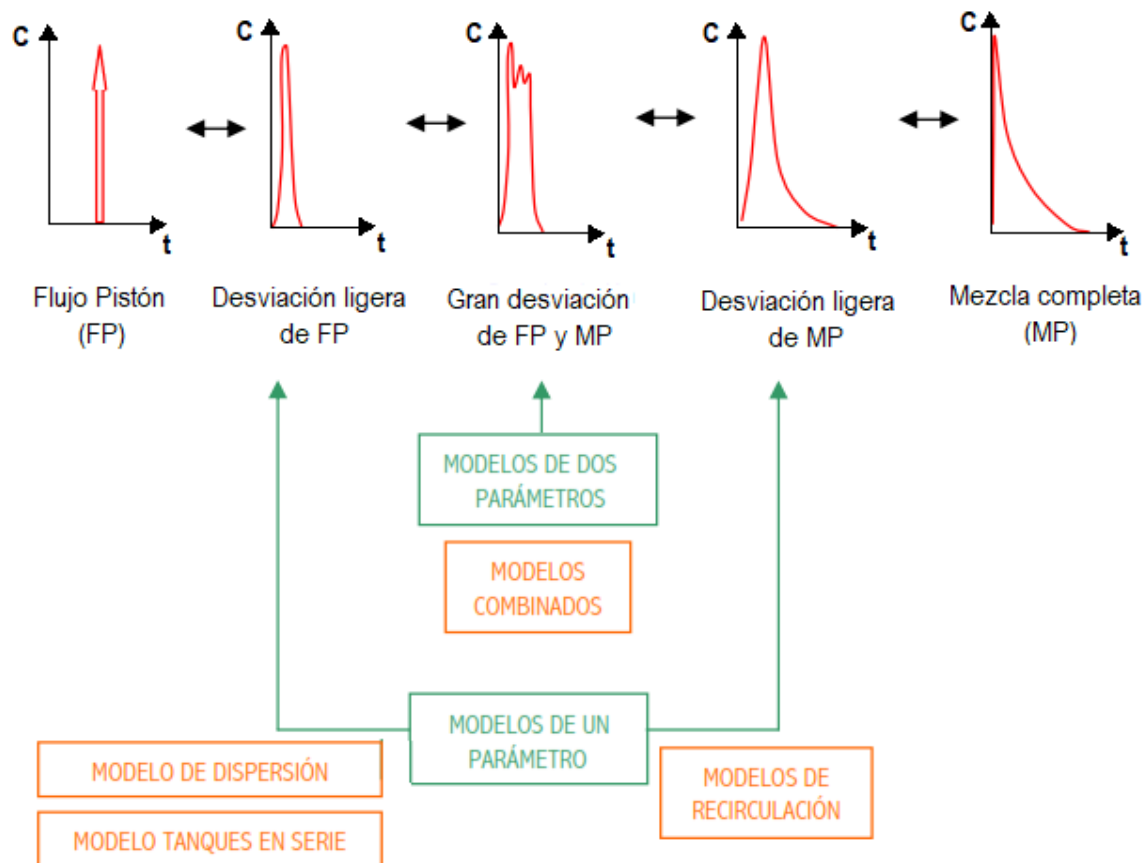


Figura 2.5. Tipos de flujo. Flujo pistón, Flujos no ideales, Mezcla Perfecta. Adaptado de: Cunill et al. (2010)

Para una entrada en impulso la respuesta del trazador a la salida presenta un ensanchamiento probablemente debido al perfil de velocidades, a la turbulencia, a la difusión molecular, etc. Dicho ensanchamiento se caracteriza mediante el coeficiente de dispersión axial o longitudinal (Figura 2.6).

2.4 INTERPRETACIÓN FÍSICA DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN. DETERMINACIÓN DE FLUJO DEFECTUOSO.

La observación de las curvas de distribución de tiempos de residencia, $E(t)$, y su comparación con las curvas de los modelos ideales, puede suministrar información sobre la existencia de contacto o flujo defectuoso en los reactores bajo estudio.

En esta investigación se determina que el comportamiento del flujo dentro del reactor describe un **FLUJO CONTINUO CON RÉGIMEN PISTÓN CON UNA LIGERA DESVIACIÓN DEBIDO A UNA PEQUEÑO GRADO DE DIFUSIÓN AXIAL Y LONGITUDINAL** determinándolo como un flujo no ideal.

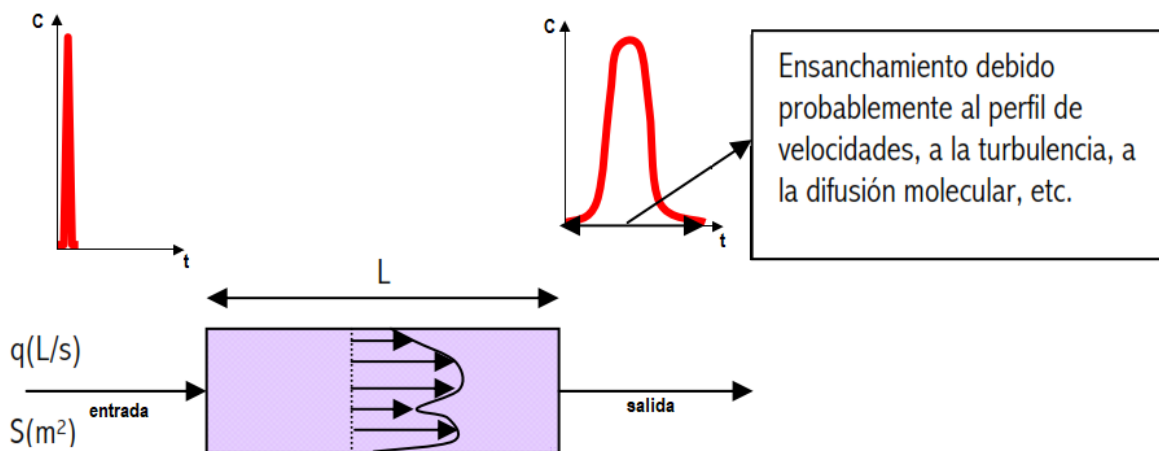


Figura 2.6. Perfil de velocidades, descripción de trayectoria de flujo. (Cunill et al., 2010).

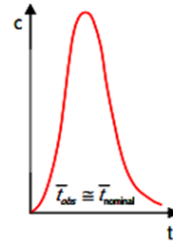
Debido a que no existe un régimen de flujo que se aplique sin ser idealizado, algunos de los comportamientos que se puede obtener en ensayos para un reactor con un tiempo de retención hidráulico determinado (V/Q_d) de flujo pistón pueden indicar algunas de las desviaciones que se muestran en las siguientes figuras. Esto permite tener una primera idea y distinción cualitativa sobre los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados en los reactores, los efectos y anomalías como corto circuitos, zonas muertas o una buena ejecución

Para identificar el patrón predominante de flujo y la magnitud de las zonas con comportamiento ineficiente, pueden emplearse diferentes modelos matemáticos basados en los resultados obtenidos con el método experimental estímulo-respuesta, en el que se inyecta un trazador en el afluente y se obtiene como respuesta una concentración del trazador en el efluente distribuida en el tiempo (Grady et al., 2011; Levenspiel, 1999) (Tabla 2.2). Esta técnica permite el análisis de la distribución de los tiempos de residencia, el cual es un método útil para describir el patrón de flujo y las características de mezcla, lo que a su vez puede ser usado para estimar el rendimiento de los procesos de remoción que se llevan a cabo dentro de un reactor (Pérez et al., 2015).

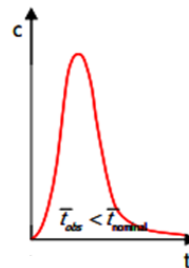
Tabla 2.2. Diagnóstico de fallas en reactores. Adaptado de: Levenspiel, 1986
(Cunill et al., 2010).

DIAGNOSTICO DE FALLAS EN REACTORES (FLUJO TIPO PISTÓN)

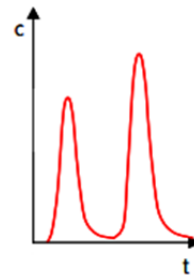
Curva esbelta, sin cola larga y con el tiempo medio aproximadamente el nominal. Flujo en pistón razonablemente bueno.



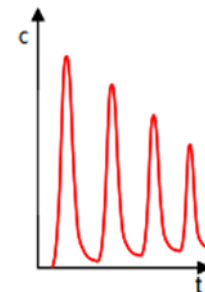
Curva esbelta pero el valor medio ocurre de forma temprana, es decir, con el tiempo medio inferior al nominal y colas largas. Flujo en pistón con un volumen muerto.



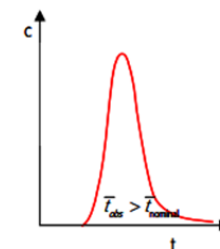
Doble pico. Flujos rapido en primera curva, flujo lento en segunda curva.



Multiples picos decrecientes a intervalos regulares. Recirculación interna



Tiempo medio superior al nominal. Mala medición o trazador no inerte.



2.5 DISEÑO HIDRÁULICO DEL REACTOR PILOTO

La escala del reactor, su geometría al igual que el régimen del flujo son los parámetros determinantes del modelo hidráulico de un reactor.

Pruebas experimentales en reactores UASB piloto se reportan en van Haandel y Lettinga (1994), donde se evaluó el patrón de flujo en un reactor piloto de 64 m³ alimentado con agua residual doméstica, empleando Litio como trazador. Se encontró que tanto al comienzo del arranque como después de un mes de operación, el patrón predominante de flujo es mezcla completa con una reducción de la fracción de zonas muertas desde 0.15 hasta 0.08. Peña et al. (2006) también encontraron predominancia de mezcla completa con zonas muertas localizadas principalmente en el lecho y el manto de lodos además de corto circuitos.

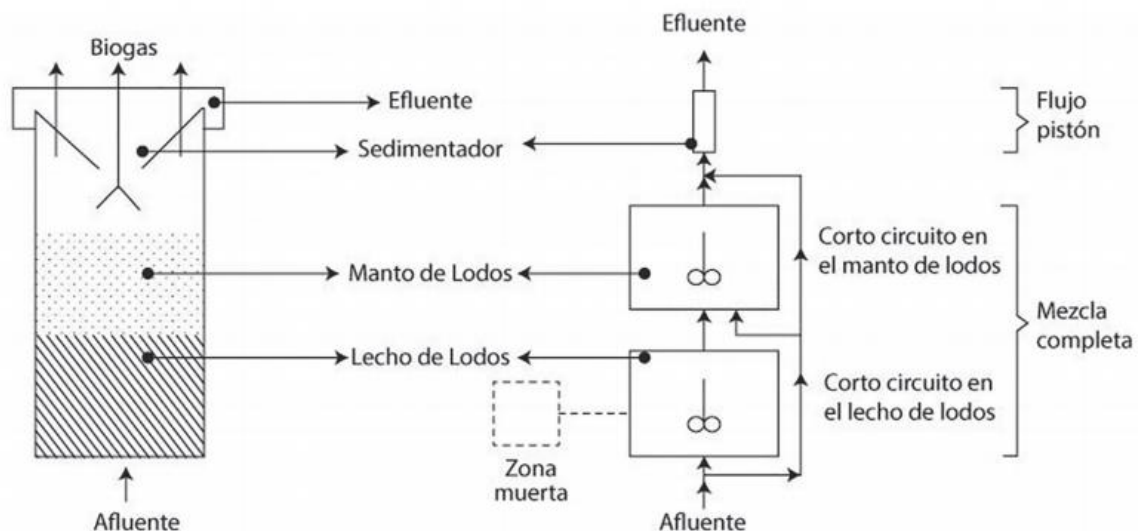


Figura 2.7. Modelo del patrón de flujo en un reactor UASB (Bolle et al., 1986).

2.5.1 ESCALAMIENTO DEL REACTOR

Los efectos de escala pueden definirse como las distorsiones introducidas por efectos diferentes del que predomina. Estos ocurren cuando uno o más de los parámetros adimensionales son diferentes entre el modelo y el prototipo. (Chanson, 2002).

La determinación de conversión entre un prototipo y un modelo parte de la teoría de los principios básicos de similitud geométrica y cinemática, donde:

2.5.1.1 Similitud geométrica

La relación de las longitudes características del modelo debe ser las que representen en las del prototipo:

$$\lambda = \frac{L_p}{L_m} = \frac{dp}{dm} = \frac{Hp}{Hm} \quad \text{Longitud} \quad (\text{ec 2.8})$$

Donde los subíndices p y m representan respectivamente prototipo (escala real) y modelo (escala piloto). El factor lambda (λ) representa la relación de cantidad de escala de prototipo a modelo.

2.5.1.2 Similitud Cinemática

Implica que las relaciones de las velocidades características del prototipo con respecto a las del modelo son las mismas.

$$Vr = \frac{V_p}{V_m} \quad \text{Velocidad} \quad (\text{ec 2.9})$$

El estado o comportamiento del flujo dependen de la predominancia del efecto gravitacional (Froude) o del efecto viscoso (Reynolds). **Para estructuras de reactores UASB el efecto gobernante está dado por el número de Reynolds** (efecto idealizado), esto debido a la predominancia de un sistema cerrado, característica esencial de los sistemas anaerobios.

El efecto de viscosidad o Reynolds es predominante en flujos completamente cerrados. Para tales situaciones, los efectos viscosos sobre fronteras sólidas son importantes. La modelación física se desarrolla por lo general con una similitud de Reynolds. Sin embargo, para las condiciones de laboratorio dadas en este estudio, el número de Froude es el que se mantiene idéntico tanto en el modelo como en el prototipo:

$$Fr_p = Fr_m \quad (\text{ec 2.10})$$

Esto implica que:

$$V_m = \frac{V_p}{\sqrt{\lambda}} \quad (\text{similitud de Froude}) \quad (\text{ec 2.11})$$

$$Q_m = \frac{Q_p}{\lambda^{5/2}} \quad (\text{ec 2.12})$$

Donde:

v_m : Velocidad del modelo (m/s)

v_p : Velocidad del prototipo (m/s)

Q_m : Caudal del modelo (m³/s)

Q_p : Caudal del prototipo (m³/s)

2.5.2 CONFIGURACIÓN DE DISEÑO:

El diseño de los reactores UASB está regido por tres criterios:

- La velocidad de digestión y sedimentación. Se deben desarrollar y mantener velocidades bajas que permiten la estabilización del sistema y una excelente sedimentación de lodos.
- La carga hidráulica volumétrica (VHL) y el tiempo de retención hidráulica (TRH).

$$VHL = \frac{Q}{V} \quad (\text{ec 2.13})$$

Donde:

VHL: Carga hidráulica volumétrica ($\text{m}^3/\text{m}^3.\text{d}$)

Q: Tasa de flujo (caudal de ingreso) (m^3/d)

V: Volumen total del reactor (m^3)

El TRHt es inversamente proporcional al VHL.

$$TRHt = \frac{1}{VHL} \quad (\text{ec 2.14})$$

Donde:

TRHt: tiempo de retención hidráulico teórico.

El rango recomendado para el TRH es de 8 a 10 horas para el proceso del tratamiento de ARD a una temperatura de 20 °C.

- Velocidad de ascenso y altura del reactor.

Para una sección del reactor se tiene:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (\text{ec 2.15})$$

Donde:

v: velocidad de ascenso (m/hora)

A: área de la sección transversal del reactor (m^2)

Por lo tanto,

$$v = \frac{Q \cdot H}{V} = \frac{H}{TRHt} \quad (\text{ec 2.16})$$

Donde:

H: altura del reactor (m)

Las velocidades recomendadas para el diseño de reactores UASB para tratamiento de ARD son 0.5-1.1 m/hora. Para los picos puede haber una velocidad de hasta 1.5 m/hora.

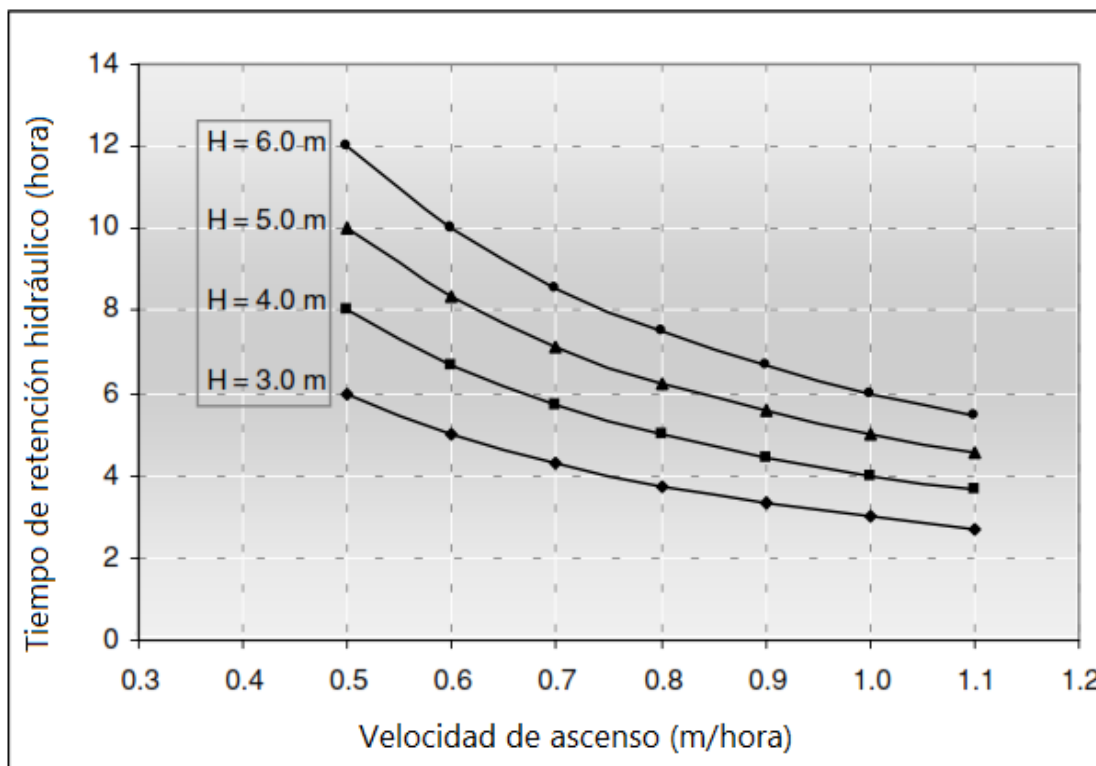


Figura 2.8. Relación entre velocidad de ascenso y TRH para diferentes alturas (H: altura en m) (Chernicharo, 2007).

2.5.3 ZONAS DE ESTANCAMIENTO

El análisis de zonas muertas o estancadas en un reactor parte de la distribución del tiempo de retención o residencia (RTD), mismo que se describe con base en ensayos de estímulo–respuesta y al proceso de mezclado que se genera dentro del reactor.

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t)dt} \quad (\text{ec 2.17})$$

Donde:

E(t): Función de RTD

C(t): Concentración de trazador en ppb (medido experimentalmente)

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot E(t)dt}{\int_0^{\infty} E(t)dt} = \int_0^{\infty} t \cdot E(t)dt \quad (\text{ec 2.18})$$

Donde:

\bar{t} : Tiempo de residencia medio

El porcentaje de zona muerta o de estancamiento del reactor se obtiene con:

$$Vm(\%) = \left(1 - \frac{\bar{t}}{TRH}\right) * 100 \quad (\text{ec 2.19})$$

CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

A partir del modelo a escala real se desarrolló un estudio de similitud geométrica y cinemática para obtener la escala reducida del reactor, es decir el modelo experimental. Para la obtención de la eficiencia de las estructuras de ingreso se realizaron pruebas de trazadores utilizando como fluido agua potable. Es importante señalar que, para fines prácticos, el agua potable tiene una notable semejanza en densidad y viscosidad cinemática que el agua residual, por lo que es ampliamente aceptado que el comportamiento hidráulico es similar para fines experimentales con prototipos.

3.1 DISEÑO DE MODELO A ESCALA REAL

El modelo a escala real corresponde a una población de 1000 habitantes perteneciente a una zona rural.

3.1.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

El caudal de diseño corresponde al caudal máximo de ARD y está dado por (Arocha, 1983):

$$Q_d = \frac{(P * D * R) * M}{3600} \quad (\text{ec 3.1})$$

Donde:

Q_d : Caudal máximo de ARD (l/s)

P: Población de diseño (hab)

D: Dotación de AP (l/hab.día). Para zona rural con conexiones domiciliarias y sistema de alcantarillado denominado de nivel IIb para clima frío, se especifica 75 l/hab.día (SENAGUA, n.d.)

R: Coeficiente de retorno respecto a la dotación de AP (adimensional). Recomendación de 0.8 para zonas rurales.

M: Factor de mayoración (adimensional). Se tomó el valor de 1.4. (Fernández et al., 2015)

Factor de mayoración: Con base en el caudal medio diario se obtiene el caudal máximo horario mediante el factor de mayoración M (o F). A mayor número de población el factor disminuye ya que el uso del agua se vuelve heterogéneo.

Entonces, el caudal de diseño obtenido fue de **$Q_d = 0.97$ l/s.**

Además, se requirió el valor de un caudal pico correspondiente a la hora de máximo consumo de AP, es decir a la máxima descarga de AR. El factor pico tomado para este cálculo es de 1.5 (Fernández et al., 2015).

Entonces, el caudal pico obtenido fue de **Qd = 1.46 l/s**.

Tabla 3.1. Resumen de parámetros y cálculos para obtención de caudal de diseño de aguas residuales.

Nombre	Acrónimo	Valor	Unidad
Habitantes	Hab	1000	hab
Dotación de agua potable	D	75	l/hab.d
Factor de retorno	R	0.8	
Factor de mayoración	M	1.4	
Caudal de diseño	Qd	0.97	l/s
Factor pico	FP	1.5	
Caudal pico	Qp	1.46	l/s

3.1.2 CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA Y CINEMÁTICA

Basados en los criterios de diseño de Chernicharo (2007), presentados en el capítulo 5, se optó por un reactor **cilíndrico**. A continuación, se presentan los resultados para el modelo a escala real, los cuales cumplen con los condicionamientos presentados en la bibliografía.

Tabla 3.2. Resumen de datos geométricos, dinámicos y cinemáticos del reactor UASB diseñado.

Nombre	Acrónimo	Valor	Unidad
Número de unidades	N	1	
Caudal de diseño	Q	0.97	l/s
Caudal pico	Qp	1.46	l/s
Diámetro	D	2.55	m
Altura	h	6	m
Relación L/D	L/D	2.35	
Área	A	5.11	m ²
Volumen	V	30.64	m ³
Carga orgánica	Lo	19.39	kgDQO/d
Carga hidráulica volumétrica	VHL	2.74	m ³ /m ³ .día
Tiempo de retención hidráulico promedio	HRT	8.75	h
Velocidad de flujo ascendente	Vup	0.69	m/h

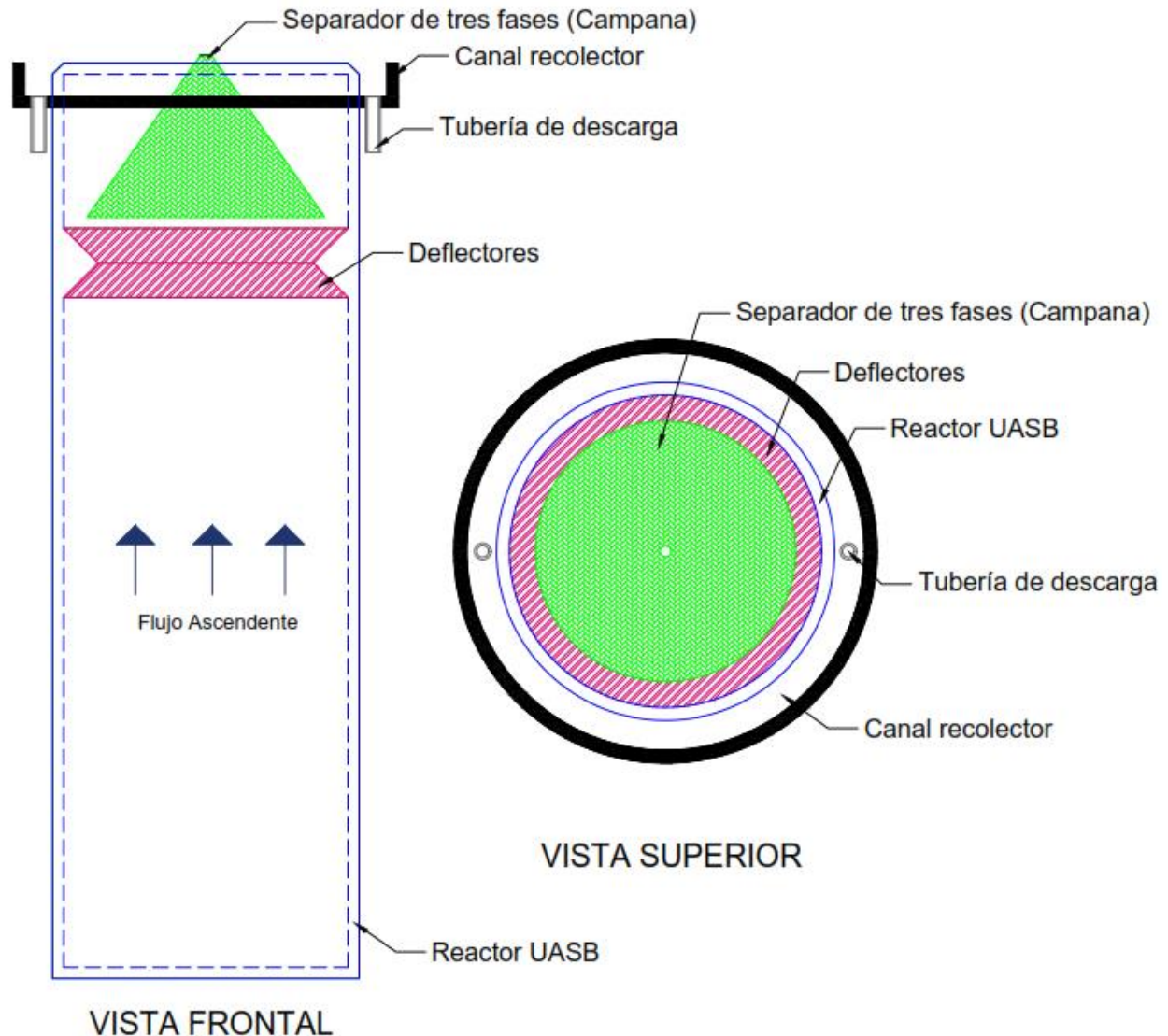


Figura 3.1. Esquema general del reactor UASB.

3.1.3 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Es importante mencionar que las estructuras de ingreso modeladas para este proyecto están ubicadas en las paredes laterales en la parte inferior del reactor, es decir donde ingresan las tuberías de distribución. Más adelante en el apartado 3.3. CONFIGURACIÓN DE ESTRUCTURAS DE INGRESO se presenta con detalle la geometría de éstas.

3.1.4 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN DEL FLUJO EN TRES FASES

El dispositivo encargado de realizar la separación del flujo en las fases líquido, sólido y gaseoso, está ubicado en la parte superior del reactor (Figura 3.1) y está compuesto por dos partes: i) Deflectores y ii) Campana.

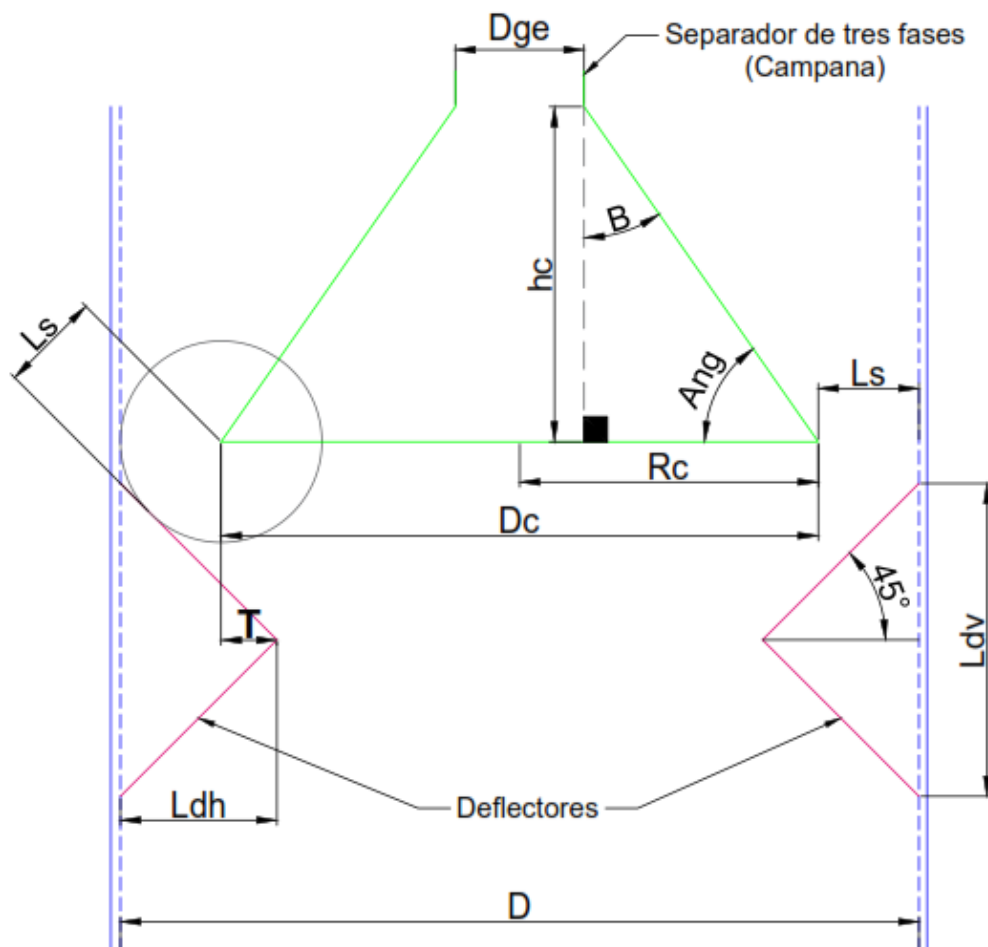


Figura 3.2. Esquema de la configuración de la campana y deflectores (De la Figura 3.1). (Los términos mencionados en la figura 3.2 se presentan en las tablas 3.5 y 3.6 con su respectivo significado)

3.1.4.1 FASE GASEOSA

Los gases separados de la materia sólida y líquida son evacuados por la parte superior de la campana. En el contexto de la evaluación hidráulica de los reactores no se presenta el análisis de producción de gases.

3.1.4.2 CAMPANA

Una vez que se hayan separado los gases, el líquido con partículas sólidas al tener una baja velocidad de ascenso son separados al chocar con las paredes del compartimento de la campana. De esta manera las partículas sólidas regresan al manto de lodos y el líquido va al efluente.

Para el diseño no es necesario algún requerimiento especial, sin embargo, se pueden seguir estas recomendaciones o adaptarlas (Chernicharo, 2007):

- La pendiente de las paredes de los deflectores debe ser mayor a 45°. Sin embargo, pendientes mayores o iguales a 50° pueden ser adoptadas.
- La profundidad correspondiente al deflector puede ser de 1.5 a 2.0 m.
- El tiempo de retención hidráulico para el caudal de diseño debe ser de 1.5 a 2.0 horas.
- La velocidad promedio de paso en la abertura entre los deflectores y la campana es de 2.0 a 2.3 m/hora y la velocidad máxima de 4.0 a 4.2 m/hora.

Tabla 3.3. Geometría y cinética de la campana.

Nombre	Acrónimo	Valor	Unidad
Diámetro externo sugerido de campana	Dc	2.13	m
Cálculo del área de la campana	Ac	3.56	m ²
Área para el paso de flujo	As	1.54	m ²
Velocidad promedio de paso	Vsp	2.27	m/h
Velocidad máxima de paso	Vsm	3.40	m/h
Angulo de campana	Ang	55	°
Altura de campana	hc	1.51	m
pendiente	m	0.70	
Valor independiente	a	0.0079	
Radio de campana	Rc	1.07	m
Radio externo de tubería de salida de gas	Rge	0.0079	m
Volumen de la campana	Vc	1.81	m ³
Volumen utilizado por sistema separador de fase	Vc+s	7.71	m ³
Volumen del compartimento de sedimentación	Vs	5.90	m ³
Tiempo de retención hidráulico en compartimento de sedimentación	HRTs,p	1.69	h

Ver el esquema de la Figura 3.2.

3.1.4.3 DEFLECTORES

Los deflectores deben ubicarse debajo de la abertura de la campana de manera que se pueda producir la separación en tres fases. Los gases deben expulsarse por la parte superior de la campana, los sólidos descender al manto de lodos, y el agua evacuarse por la abertura entre la campana y los deflectores.

- Para una correcta separación en tres fases, debe existir un adecuado traslazo **T** (Distancia desde el borde de la campana hasta el borde del deflector. Ver Figura 3.3) entre los deflectores y la campana.

Tabla 3.4. Geometría de los deflectores.

Nombre	Acrónimo	Valor	Unidad
Apertura de compartimento de sedimentación	Ls	0.21	m
Traslazo	T	0.1	m
Angulo		45	°
Longitud deflector horizontal	Ldh	0.31	m
Longitud deflector vertical	Ldv	0.62	

Ver el esquema de la Figura 3.2.

3.2 DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL

Para realizar pruebas de laboratorio fue necesario realizar el escalamiento del reactor real a un modelo experimental o a escala laboratorio. El escalamiento se realizó mediante el principio de similitud.

“Los principios de similitud hacen referencia a la relación que existe en los sistemas físicos y sus dimensiones. La configuración de un sistema físico se caracteriza en general por tres cualidades: tamaño, forma y composición.” (Mayorga et al., 2014).

3.2.1 ESTUDIO DE SIMILITUD GEOMÉTRICA

“Dos cuerpos son geoméricamente similares cuando para todo punto en el primer cuerpo existe un punto en el segundo. No es necesario que la relación de escalamiento sea la misma en cada uno de los ejes, lo cual se entiende como similitud geométrica distorsionada.” (Mayorga et al., 2014)

En base a la bibliografía presentada en el marco teórico, las nuevas dimensiones para el modelo experimental son:

Tabla 3.5. Parámetros de similitud geométrica para el reactor piloto.

Nombre	Acrónimo	Valor	Unidad
Factor de escala	Λ	30.36	
Altura del modelo	Hm	0.197	m
Diámetro modelo	Dim	0.084	m
Volumen modelo	Vm	0.0026	m ³

3.2.2 ESTUDIO DE SIMILITUD CINEMÁTICA

Similitud cinemática: “Sistemas en movimiento geoméricamente similares presentan similaridad cinemática cuando partículas correspondientes trazan trayectorias geométricas correspondientes en intervalos de tiempo similares.” (Mayorga et al., 2014)

La similitud cinemática puede basarse en dos criterios:

- Número de Reynolds*: Este criterio considera que las fuerzas gravitatorias o de viscosidad tienen mayor incidencia que la velocidad del flujo.
- Número de Froude*: Este criterio considera que la velocidad del flujo tiene mayor incidencia que las fuerzas gravitatorias o de viscosidad.

Para el modelo se ha elegido el criterio de número de Froude, en la Tabla 3.6 se presentan los datos de similitud cinemática para el reactor piloto.

Tabla 3.6. Parámetros de similitud cinemática.

Nombre	Acrónimo	Valor	Unidad
Velocidad de flujo ascendente	Vup,m	0.12	m/h
Caudal de diseño	Qm	11.5	ml/min
Tiempo de retención hidráulico	TRHp	1.6	h
Número de Reynolds	Re	2.90	
Viscosidad dinámica flujo	μ	0.001	Kg/m ³
Número de Froude	Fr	0.14	

3.2.3 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

Para la construcción del reactor piloto se contó con tubos cilíndricos de polimetilmetacrilato (PMMA) 8.4cm de diámetro interno. Del escalamiento se obtuvo la altura del reactor en 19.7 cm con un volumen útil de 2.6 L. El reactor cuenta con dos deflectores y una campana de acrílico butadieno estireno (ABS), y una base y tapa de acrílico (Figura 3.3).

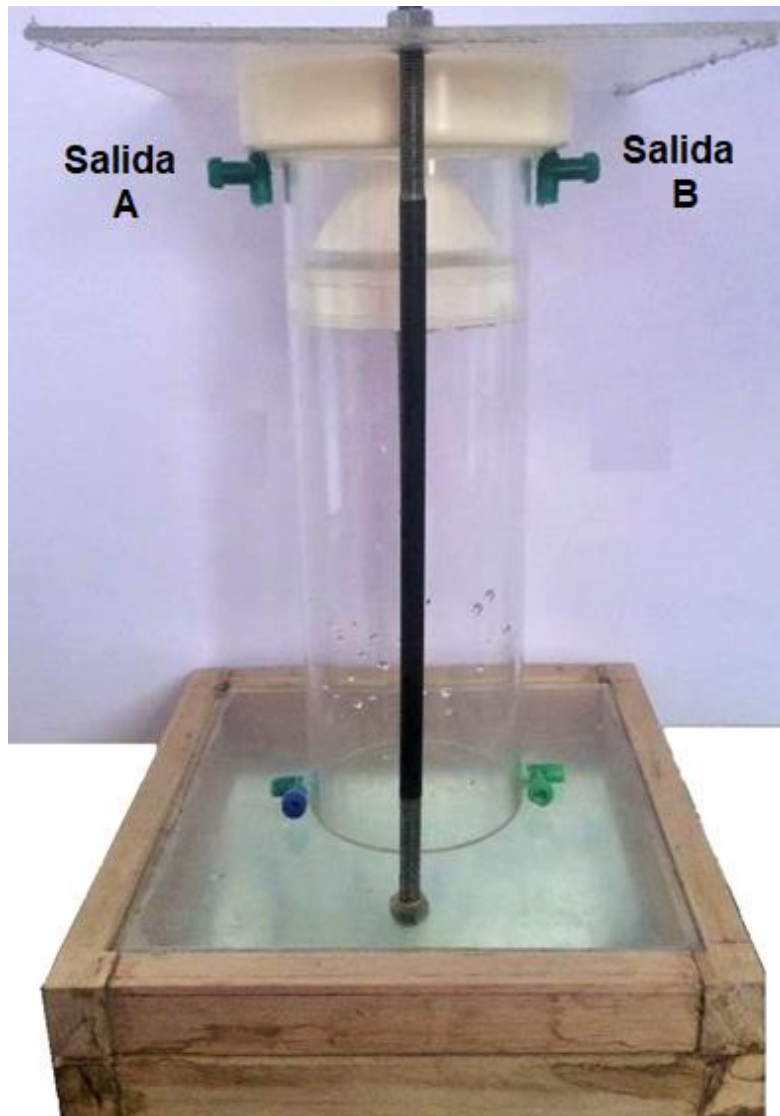


Figura 3.3. Reactor a escala laboratorio.

3.3 CONFIGURACIÓN DE ESTRUCTURAS DE INGRESO

Siendo el momentum del fluido producido en la entrada determinante para el régimen hidráulico presente en el reactor, se modelaron tres estructuras de ingreso para un análisis comparativo:

- i) Una entrada lateral en la pared del reactor mediante una manguera de silicona de 4mm de diámetro.

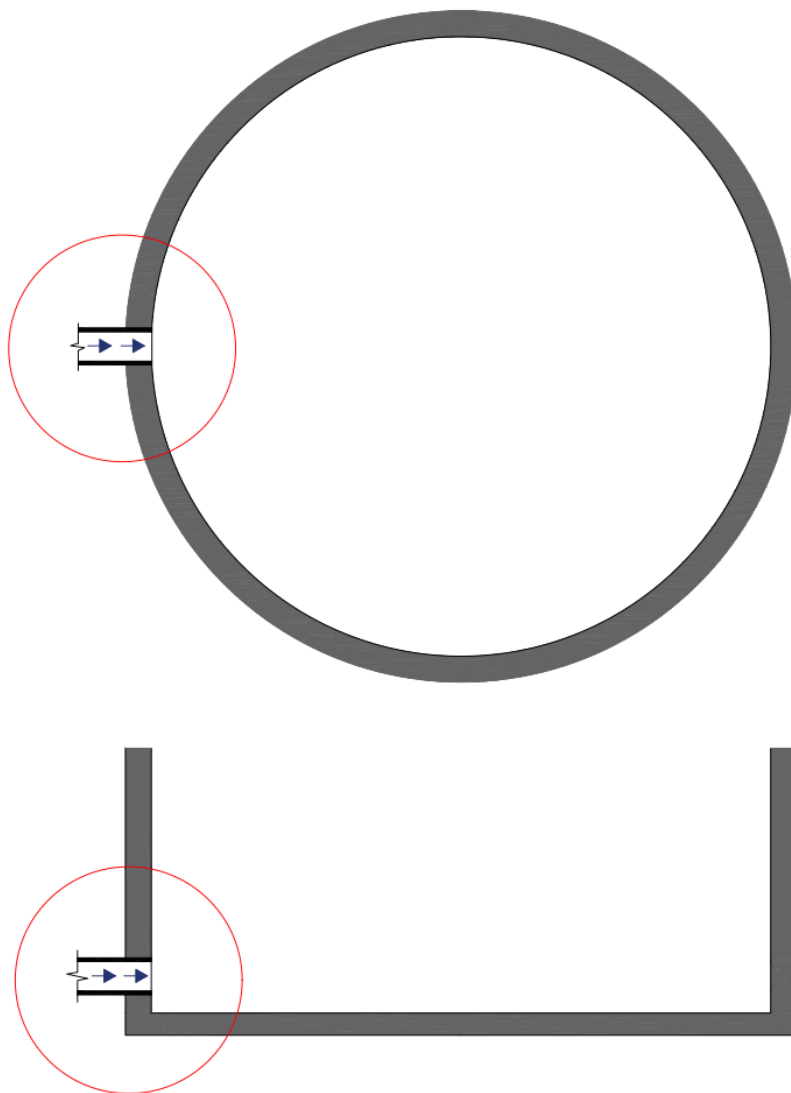


Figura 3.4. Estructura de ingreso con una entrada lateral. Corte transversal y longitudinal.

- ii) Dos entradas laterales opuestas en la pared del reactor con mangueras de silicona de 4mm de diámetro.

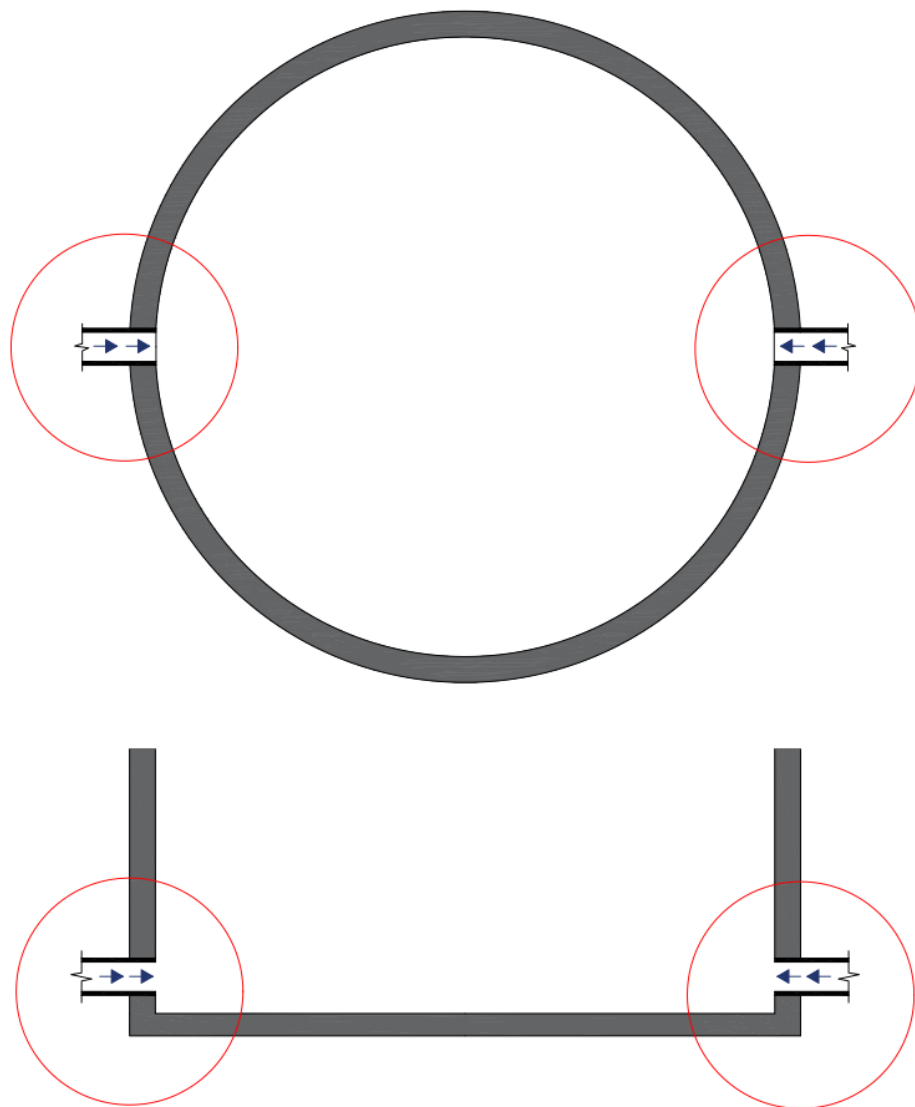


Figura 3.5. Estructura de ingreso con dos entradas laterales. Corte transversal y longitudinal.

- iii) Una entrada en el centro del reactor mediante una manguera de silicona de 4mm de diámetro dirigida desde la pared del reactor hasta el centro conectada con un codo de 90° dirigido hacia abajo.

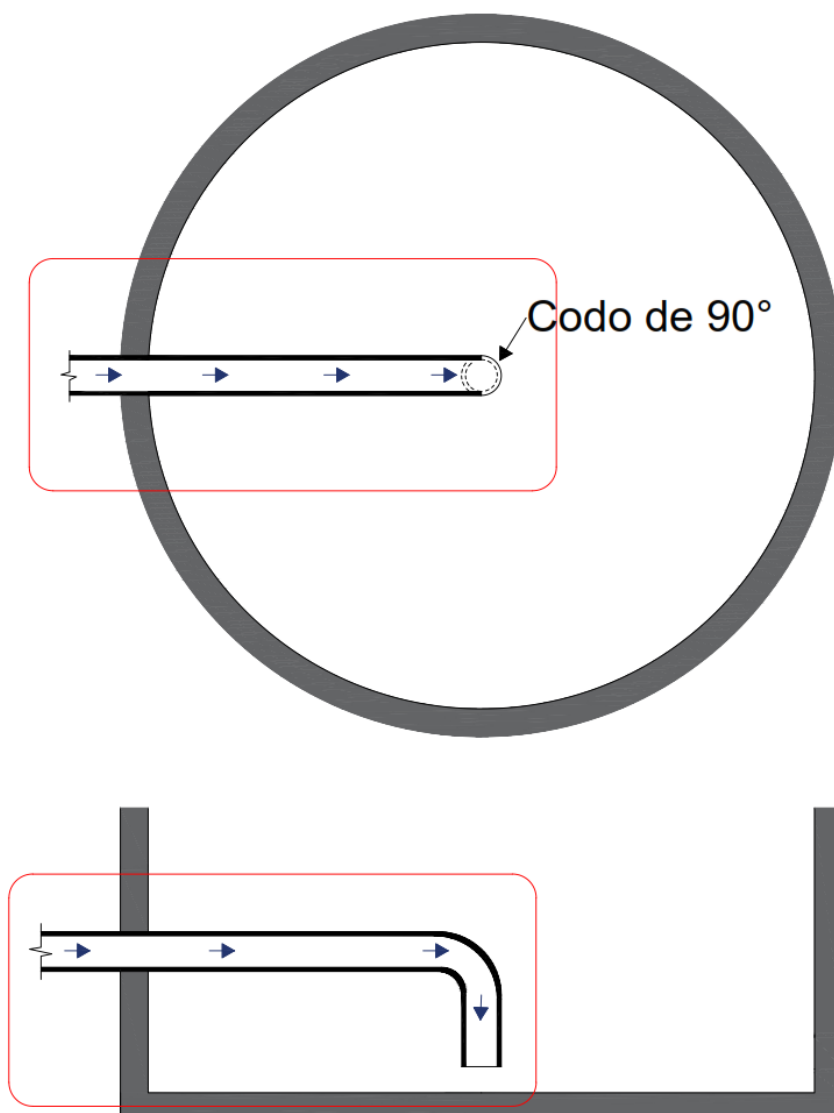


Figura 3.6. Estructura de ingreso con una entrada lateral y uno codo de 90°. Corte transversal y longitudinal.

3.4 ARRANQUE Y OPERACIÓN

3.4.1 MATERIALES

El esquema general del sistema para las pruebas de trazadores está conformado por los siguientes elementos:

- Tanque alimentador
- Tubería de ingreso (Material: Silicona, Diámetro interior: 4mm)
- Bomba peristáltica (Gilson, Modelo: Minipuls 3, USA)

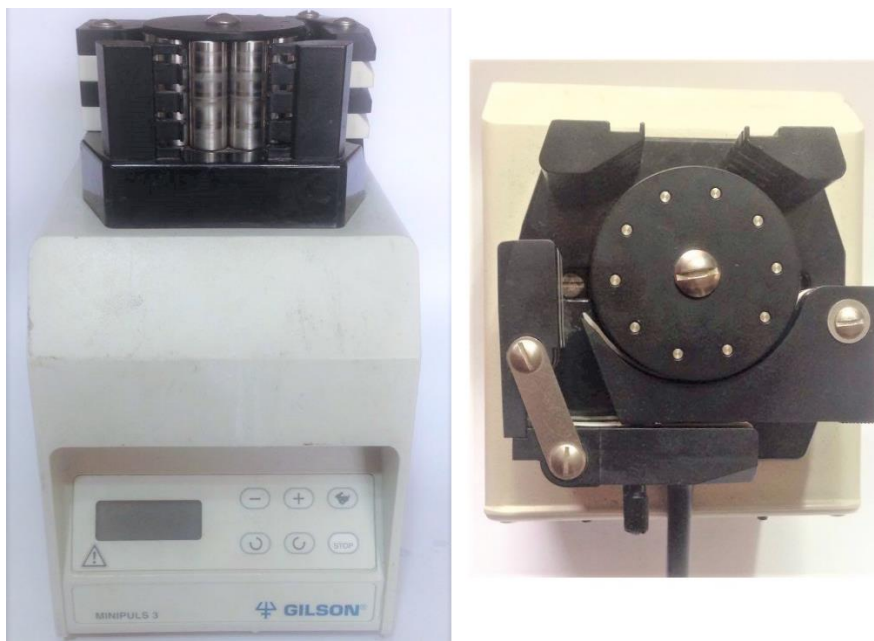


Figura 3.7. Vista frontal y superior de la bomba peristáltica.

- Válvula de ingreso
- Reactor UASB
- Canal recolector
- Válvulas de muestreo



Figura 3.8. Válvulas de ingreso y muestreo.

- Tubería de descarga (Material: Silicona, Diámetro interior: 4mm)

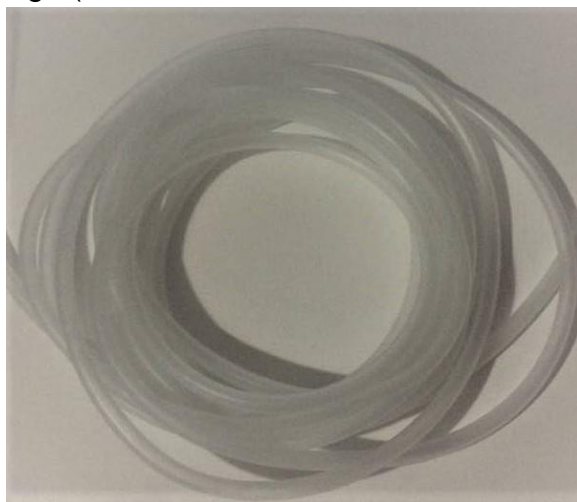


Figura 3.9. Tubería de ingreso y de descarga.

3.4.2 SOLUCIONES DE TRAZADOR

La prueba de trazador se realizó con Rodamina WT con una disolución al 20% y densidad de 1.16 g/ml. A partir de dicha disolución para los ensayos se prepararon varias soluciones para realizar la calibración del equipo. Para cada ensayo se inyectó un volumen específico de una solución de concentración conocida. (Tabla 3.7) Las soluciones preparadas fueron de 232000, 417.6, 232.0, 104.4, 58.0, 34.8, 20.7, 6.8, y 1.0 ppb.

Tabla 3.7. Volúmenes de inyección de trazador.

Estructura	Vol de Inyección (ml)	Concentración (ppb)
Una entrada lateral	0.1	232000
Dos entradas laterales	0.12	
Una entrada con codo de 90°	0.1	

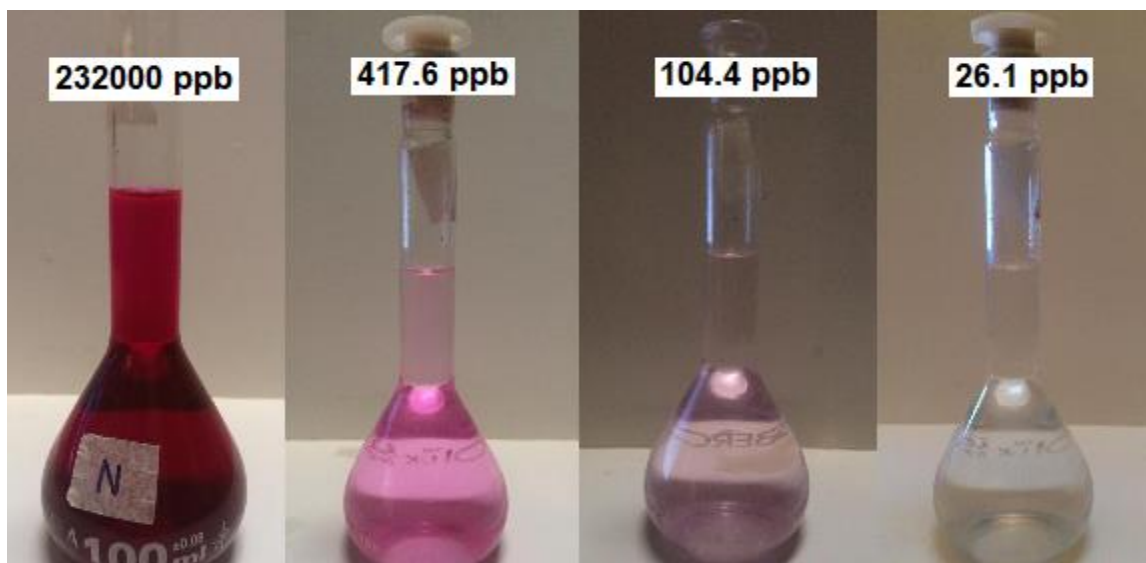


Figura 3.10. Soluciones de Rodamina WT.

3.4.3 REGULACIÓN DE CAUDAL

El caudal fue regulado mediante la bomba peristáltica, la cual fue calibrada para obtener el porcentaje de error causado por la variación de la corriente eléctrica.

El análisis de error se realizó con el siguiente procedimiento:

- Para un volumen definido (50ml) y para una velocidad, se midió el tiempo que tarda en llenarse dicho volumen. Desde 2 hasta 48 rev/min.
- Este proceso se repitió seis veces en cada una de tres fuentes de energía diferentes.
- Al obtener valores de caudal correspondiente a una velocidad, se realizó un análisis estadístico de los 6 datos y se generaron intervalos de confianza para diferentes porcentajes de error requeridos. Este procedimiento se repitió para todas las velocidades.

$$\text{Media aritmética: } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n} \quad (\text{ec 3.2})$$

Donde:

Σx : Sumatoria de los caudales (ml/s)

n: Número de datos (En este caso 6 para cada velocidad)

$$\text{Desviación estándar: } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (\text{ec } 3.3)$$

$$\text{Intervalo de confianza: } IC = \bar{x} \pm z_{\alpha/2} * \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (\text{ec } 3.4)$$

Donde:

$z_{\alpha/2}$: Valor correspondiente al porcentaje de confianza esperado

- Con la información de intervalos de confianza correspondiente a la cada velocidad en análisis, se construyeron las curvas de confianza de caudal para la bomba peristáltica.

Las curvas de confianza se pueden apreciar en el Anexo 10.

3.4.2 CALIBRACIÓN DEL FLUORÓMETRO

Se obtuvo el error de las lecturas marcadas en el equipo mediante el siguiente procedimiento:

- Se realizaron cuatro mediciones de cada una de las soluciones patrón de concentración conocida.
- Se graficaron los valores siendo: concentración teórica (dato conocido) vs concentración experimental (dato obtenido en el equipo).
- A partir de los puntos graficados se obtuvo una ecuación de aproximación lineal (ec 3.6).
- Mediante un análisis estadístico se obtuvo el error máximo de las lecturas generado por el equipo con la ec 3.3 (se tomó como media el valor de concentración conocida), y la ec 3.5.

$$\text{Error} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{ec } 3.5)$$

$$Ct = 1.0153 * x + 0.52 \quad (\text{ec } 3.6)$$

$$R^2 = 0.9985$$

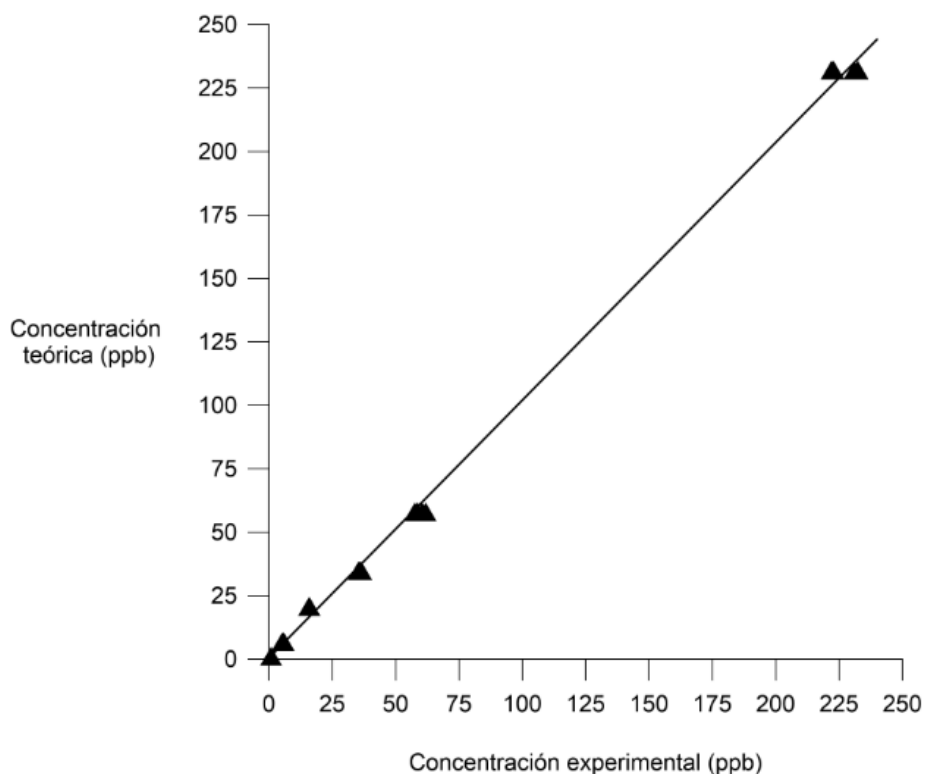


Figura 3.11. Curva de calibración del fluorómetro.

3.4.3 PARÁMETROS DE MEDICIÓN

Temperatura: La temperatura fue medida tres veces en cada intervalo (Tabla 3.8), con un termómetro de mercurio.

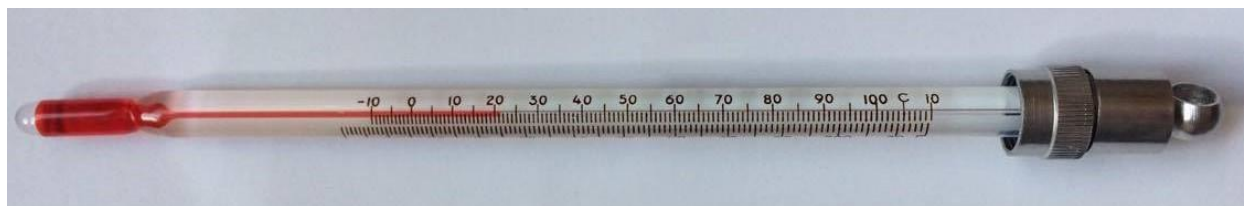


Figura 3.12. Termómetro de mercurio.

Concentración: La concentración de trazador en las muestras tomadas en el efluente en intervalos definidos de tiempo (Tabla 3.8) se midió en un fluorómetro (Turner Designs, Modelo: AquaFluor, USA) con un límite de detección mínimo de 0.4ppb y un máximo límite de saturación de 400 ppb.



Figura 3.13. Fluorómetro y cubetas de muestreo.

Tabla 3.8. Descripción de intervalos de muestreo.

Desde [h: min]	Hasta [h: min]	Intervalo de tiempo para muestreo [min]
00:00:00	00:30:00	1
00:30:00	01:00:00	2
01:00:00	02:00:00	5
02:00:00	03:00:00	10
03:00:00	05:00:00	20

3.4.5 PRUEBAS CON TRAZADORES FLUORESCENTES (ENSAYOS HIDRÁULICOS)

Se procedió de la siguiente manera para la evaluación del comportamiento hidráulico:

- Se estableció el caudal en la bomba peristáltica.
- Previo a los ensayos el fluorómetro fue calibrado con las soluciones patrón de concentración conocida para obtener una ecuación lineal de correspondencia entre la lectura del equipo y la concentración real en partes por billón (ppb).
- Se inyectó un volumen de solución (Tabla 3.7) patrón en la entrada del reactor **mediante el método del pulso**.
- Se recolectaron dos muestras por cada intervalo de tiempo. Se realizaron tres lecturas en el fluorómetro para cada muestra.

- Para el muestreo se retiró la tubería de descarga para obtener desde la válvula el agua con trazador y a continuación se colocó nuevamente la tubería (Figura 3.14).

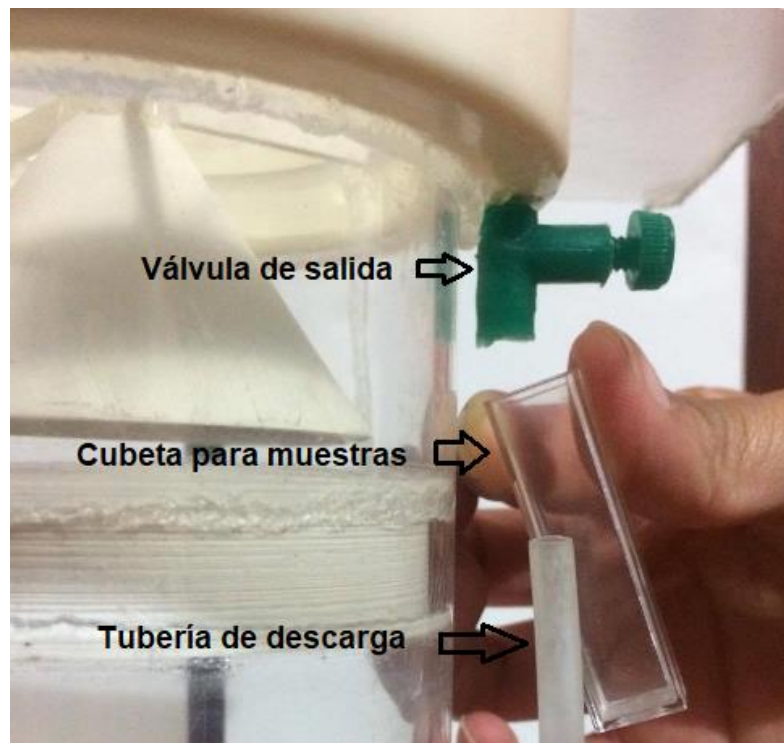


Figura 3.14. Metodología de muestreo.

- Con los datos de concentración y tiempo se graficaron las curvas RTD.

3.5 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO

La evaluación del desempeño de la hidráulica de los reactores se basó en dos criterios cuantitativos y uno cualitativo:

- Volumen de zona muerta:* Se analizó mediante las curvas RTD producto de las pruebas de trazadores realizadas con el método del pulso.
- Porcentaje de masa recuperada:* Respecto a la masa de rodamina inyectada de valor conocido, se calculó el porcentaje de masa recuperada en el efluente.
- Líneas de flujo:* se observó los flujos preferentes y la presencia de cortocircuitos mediante la forma que describen las curvas, aprovechando la visibilidad del trazador.

Mediante los criterios i y ii (explicados en el marco teórico), se obtuvo el porcentaje de eficiencia del desempeño de los modelos experimentales.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

4.1.1 CALIBRACIÓN DE BOMBA PERISTÁLTICA

El tubo donde circula el agua que alimenta al reactor, al estar con una presión determinada alrededor de los rodillos, libera el agua potable de forma continua a una velocidad de revoluciones preseleccionada en la bomba. Sin embargo, la variación de corriente eléctrica influye en la velocidad de rotación del mecanismo de la bomba y por ende en el caudal. En el Anexo 10 se muestra la Calibración de la Bomba.

4.1.2 CALIBRACIÓN DE FLURÓMETRO

Con base en las concentraciones de las soluciones conocidas se calibró el equipo, teniendo éste que encontrarse dentro de un rango entre 5 y 30 respecto de la relación mostrada en la ecuación ec.4.1. Esta relación está dada por el límite de detección que tiene el equipo.

$$\frac{\%FS-STD}{\%FS-Blk} = 14.37 \quad (\text{ec 4.1})$$

Dónde,

%FS – STD: Amplitud detectada de la muestra estándar.

%FS – Blk: Amplitud detectada de la muestra blanca o cero.

$$5 < 14.37 < 30$$



Figura 4.1. Valores que indican el radio de detección en el Fluorómetro (Turner Designs, Modelo: AquaFluor, USA)

Si es que el radio obtenido es mayor a 30, las mediciones no tienen garantía que se mantengan en una relación lineal. Si es que el radio es menor a 5, no se puede tener una diferencia considerable entre la solución blanca con la solución de calibración estándar.

Con la ecuación de calibración (ec 3.6) del fluorómetro con base en las concentraciones teóricas conocidas y sus respectivas lecturas en el equipo, se obtuvo el rango de error de ± 3.407 para las lecturas marcadas en el fluorómetro. Esto se verifica en el Anexo 11.

4.2 ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE INGRESO

Los resultados expuestos en este capítulo, referidos a los tres diseños de estructuras de ingreso propuestos, presentan un análisis comparativo entre estas estructuras, la influencia en la Distribución de Tiempo de Residencia (RTD) y por lo tanto la eficiencia de cada ensayo.

En el reactor UASB a escala laboratorio, se llevaron a cabo 3 pruebas de trazadores para cada estructura de ingreso, siendo en su totalidad 9 pruebas en las cuales se aplicó el método de Pulso, previamente explicado. Se muestra en la figura 4.2 a y b el momento de la entrada de Rodamina al reactor y el ascenso del trazador respectivamente.

4.2.1 ANÁLISIS DE ESTRUCTURA DE INGRESO: UNA ENTRADA LATERAL

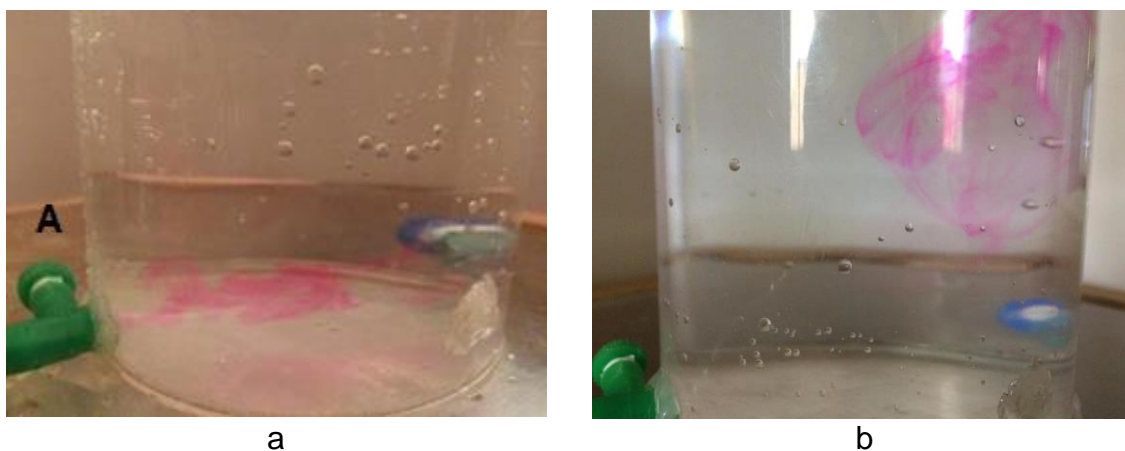


Figura 4.2. a) Ingreso de Rodamina WT en el reactor, (b) Ascenso de la Rodamina en el cuerpo del reactor

El ingreso del trazador se da de forma instantánea, sin causar una perturbación considerable en las condiciones de flujo estables con las que se inicia el ensayo. El trazador describió inicialmente líneas de flujo preferente al lado opuesto al de la inyección, esto por el impulso generado por el caudal de ingreso que choca con la pared contraria generando una recirculación.

Los tres ensayos describieron curvas RTD con un comportamiento creciente en los primeros 30 minutos en donde se permitió una adaptación hidrodinámica, posteriormente inició un descenso donde se identificó picos que indican una inestabilidad temporal en el flujo, para luego describir un estado de equilibrio decreciente sutil.

Estos picos se forman por zonas de estancamiento generados por la canalización de flujo preferente y recirculación del mismo, lo que provocó variantes de concentración con cambios abruptos como indica la Figura 4.3.

Los tres ensayos muestran cualitativamente total correspondencia por lo que se puede afirmar que representan en forma fidedigna el comportamiento hidráulico del reactor ante el estímulo experimental.

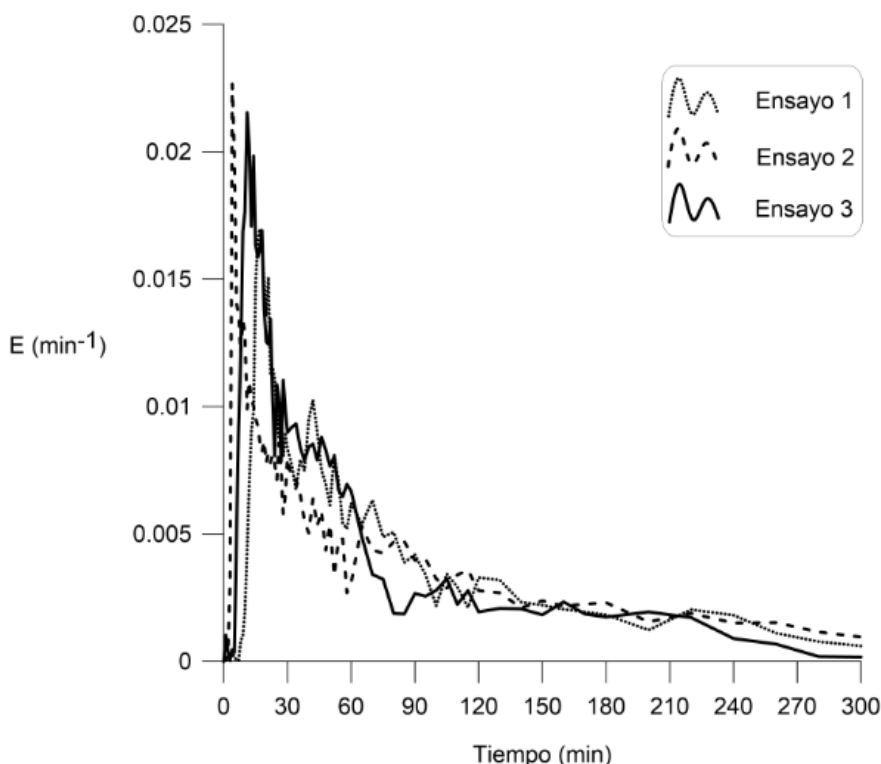


Figura 4.3. Curvas RTD de 3 ensayos experimentales de inyección de trazador en estructura de un ingreso lateral al reactor escala laboratorio.

4.2.1.1 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO POR SALIDAS

Para las salidas A y B (Ver Figura 3.3), se observó que la distribución de la edad del trazador dentro del reactor es semejante en cada uno de los tres ensayos. Esto indica que los distintos elementos del fluido, aún al recorrer diferentes caminos a lo largo del reactor han alcanzado tiempos de retención semejantes en ambas salidas. Sin embargo, se presentaron tres picos generados en la curva de la Figura 4.5 en el intervalo de tiempo 28 a 52 min; y dos picos en la curva de la Figura 4.6 en los primeros 30 min, estos picos se generan por cortocircuitos, provocados por estancamiento dentro del reactor, variantes en el sistema eléctrico y por ende en el caudal de ingreso. Sin embargo, las curvas muestran total correspondencia, validando las pruebas y la metodología utilizada.

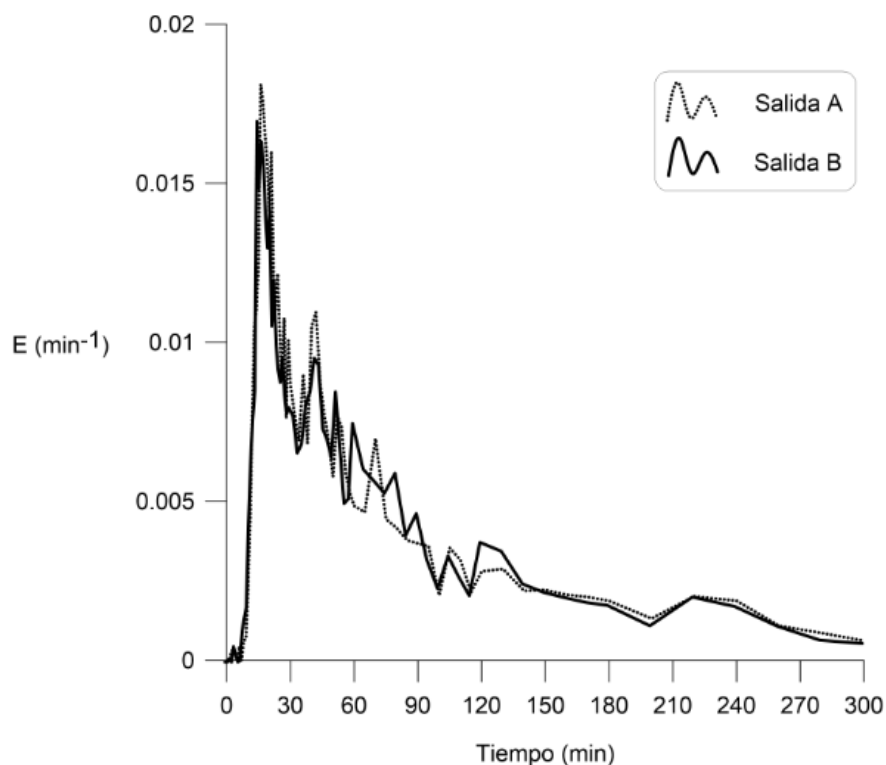


Figura 4.4. Curvas RTD de Salidas A y B (Figura 3.3). Un ingreso lateral: Ensayo experimental 1.

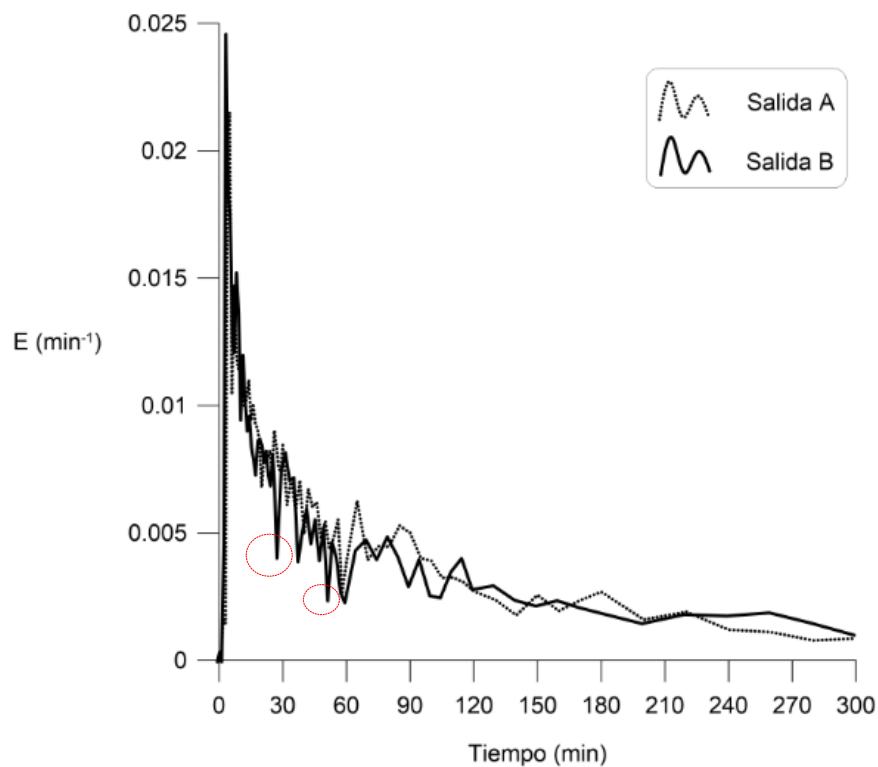


Figura 4.5. Curvas RTD de Salidas A y B. Un ingreso lateral: Ensayo experimental 2.

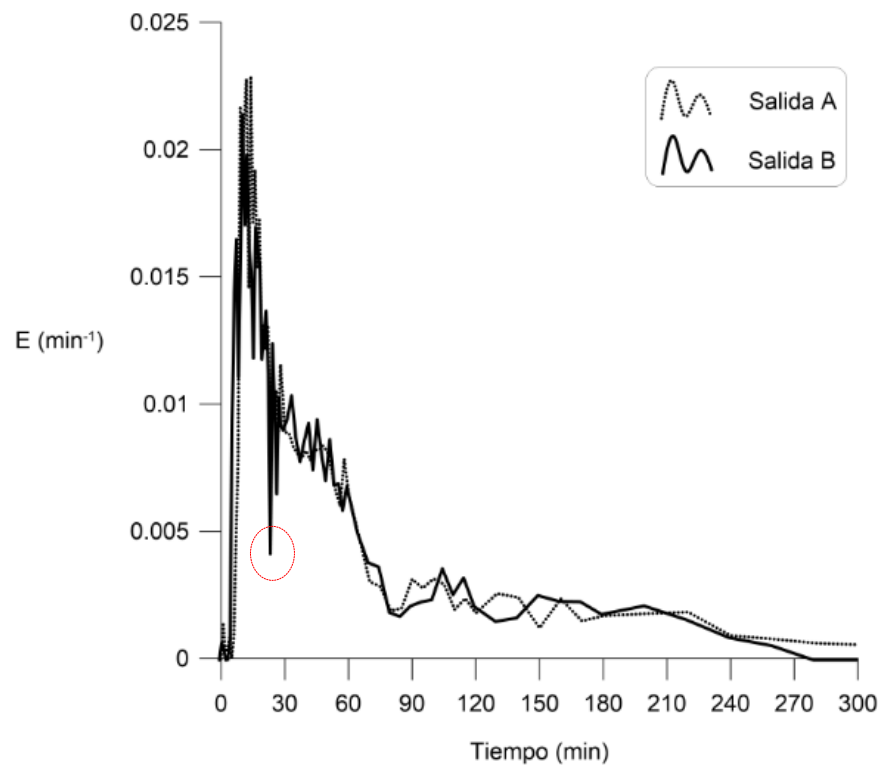


Figura 4.6. Curvas RTD de Salidas A y B. Un ingreso lateral: Ensayo experimental 3.

4.2.2 ANÁLISIS DE ESTRUCTURA DE INGRESO: DOS ENTRADAS LATERALES



Figura 4.7. Ingreso de Rodamina WT en estructura de dos entradas

Las curvas RTD descritas en los ensayos con dos estructuras de ingreso no describieron similitud entre ellas. La curva del ensayo 1 ascendió de forma instantánea y posteriormente describió un descenso normal, mientras que las curvas de los ensayos 2 y 3 no generaron una cresta representativa lo que indica que no se generó una

concentración pico; sin embargo, la tendencia de descenso que se sigue en las tres curvas indica nuevamente una diferencia evidente; para la curva del ensayo 1 este indica un mayor descenso en comparación con las otras dos. Estas dos discrepancias, tanto al inicio de la curva como en la parte final pueden ser producto de una variación en la aplicación de la inyección del trazador o condiciones de turbulencia muy variables producto del choque de los dos flujos de entrada ubicados en sitios opuestos

En los ensayos 2 y 3 se observa que no existe un valor pico y por lo tanto no se describe la curva RTD típica, esto puede ser el resultado de velocidades de ingreso muy bajas por lo que, aun ingresando el mismo caudal de 11.5 ml/min, por el hecho de dividirse en dos entradas provoca que el trazador se quede concentrado en la región media del reactor.

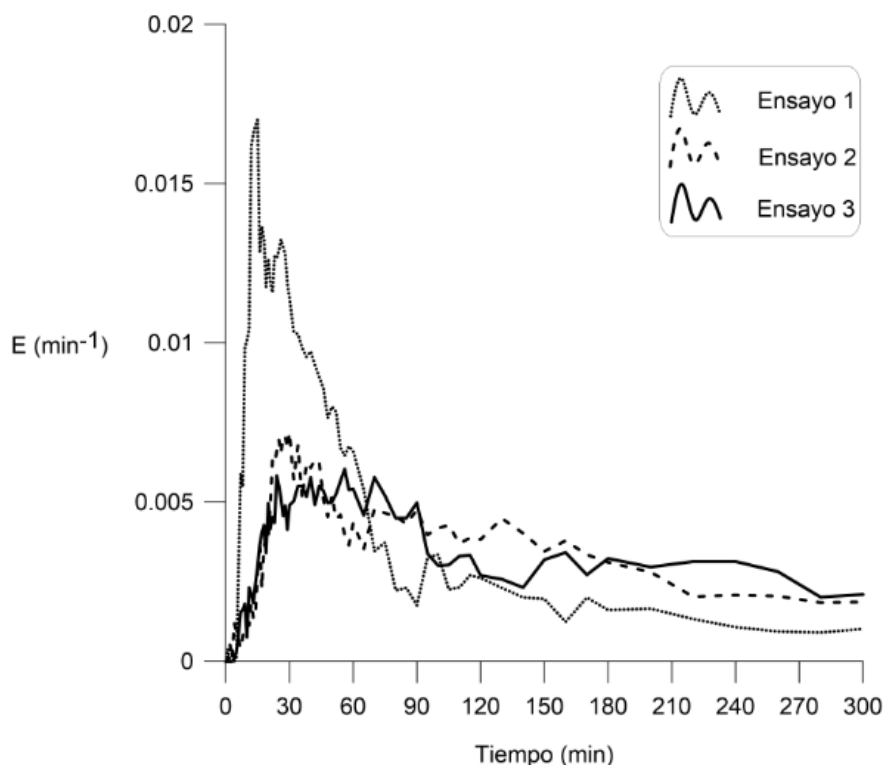


Figura 4.8. Curvas RTD de 3 ensayos experimentales de inyección de trazador en estructura de ingreso de dos entradas al reactor escala laboratorio.

4.2.2.1 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO POR SALIDAS

En la Figura 4.9 se observa una diferencia significativa entre los picos de cada salida de este ensayo, siendo la de la salida B mayor a la de A, y un desfase de las curvas RTD, esto da indicio de que se dio un ascenso con flujo preferente al lado B producto posiblemente de un ligero desbalance en la división de los flujos en cada entrada opuesta. Posterior a los primeros 30 minutos de ensayo, se observa, sin embargo, que las curvas convergen en forma significativa, lo que indica que dentro del reactor las turbulencias se disipan y el régimen hidráulico se homogeniza.

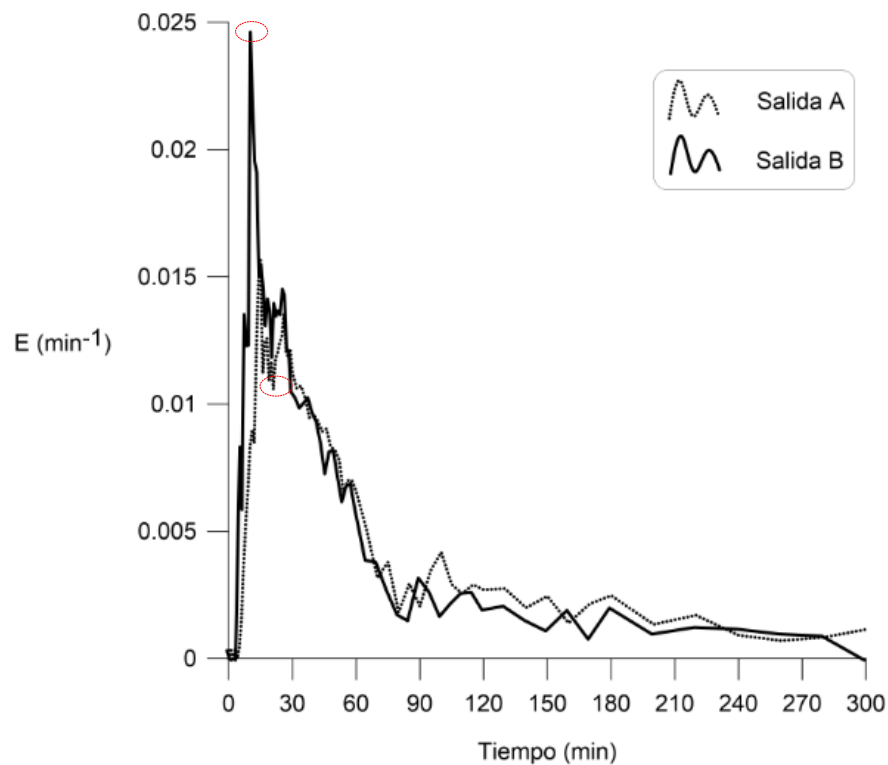


Figura 4.9. Curvas RTD de Salidas A y B. Dos ingresos laterales: Ensayo experimental 1.

En la Figura 4.10 y Figura 4.11 se determinan la recirculación de flujo, por lo que no se alcanza un valor pico. El posterior descenso, como ya se indicó anteriormente, puede ser producto de bajas velocidades, por lo que el trazador se encuentra concentrado en la parte central del reactor.

Nuevamente, las dos curvas muestran total correspondencia, validando cualitativamente las pruebas realizadas y la configuración del reactor

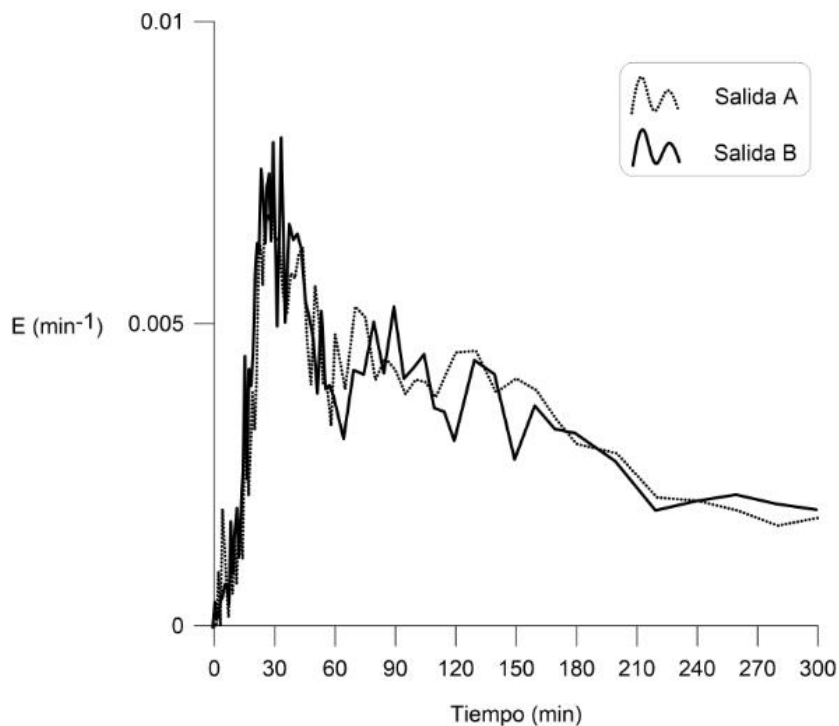


Figura 4.10. Curvas RTD de Salidas A y B. Dos ingresos laterales: Ensayo experimental 2.

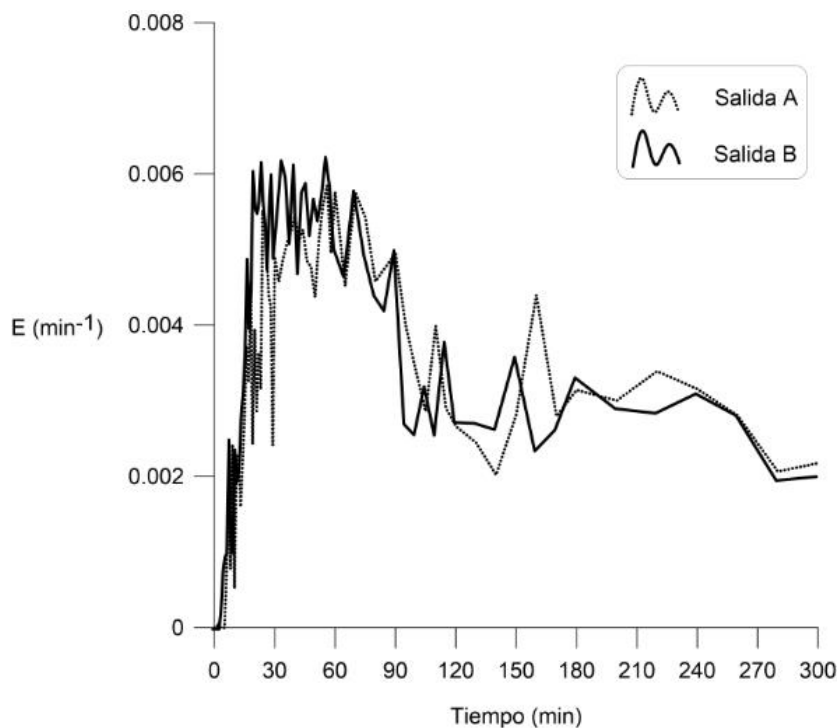


Figura 4.11. Curvas RTD de Salidas A y B. Dos ingresos laterales: Ensayo experimental 3.

4.2.3 ANÁLISIS DE ESTRUCTURA DE INGRESO: CODO A 90°

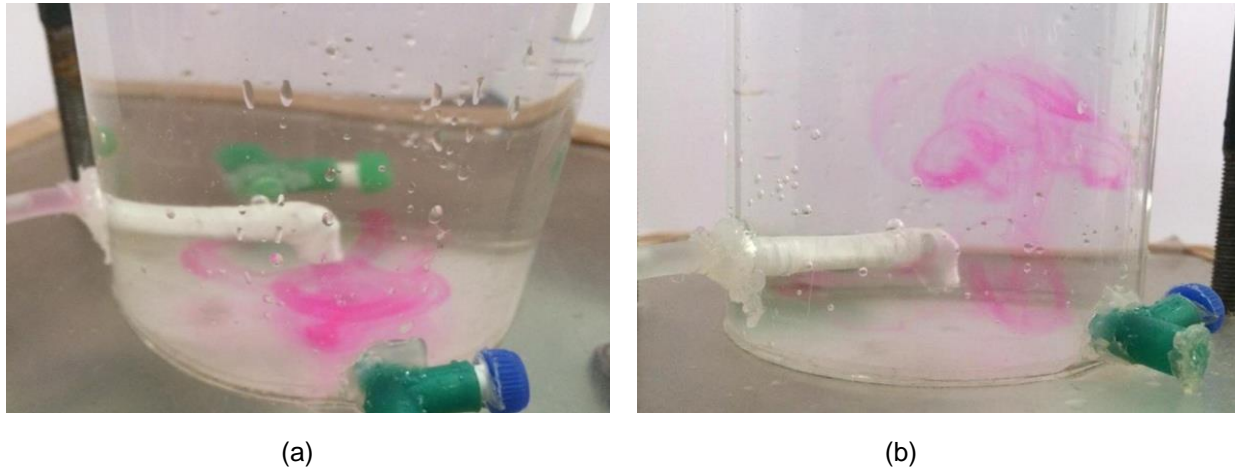


Figura 4.12. (a) Ingreso de Rodamina WT en estructura cono a 90° (b) Ascenso de Rodamina WT en estructura cono a 90°

Las curvas RTD descritas en los ensayos 1 y 2 con estructura de ingreso con codo de 90° presentan similitudes en su forma, indicando un flujo con poca recirculación. La curva del ensayo 3 presenta un desfase de su curva con respecto a las otras dos, y se identifican dos picos, el primero generado por un flujo rápido y el segundo generado por un flujo lento, esta variación de velocidad de ascenso en el primer pico puede deberse a la canalización del flujo generada por el impulso de la inyección de Rodamina WT.

El desfase evidente en la curva 3 puede deberse a la variación del voltaje que infiere en el funcionamiento de la bomba peristáltica por lo que es necesario asegurar un voltaje constante para obtener resultados más precisos.

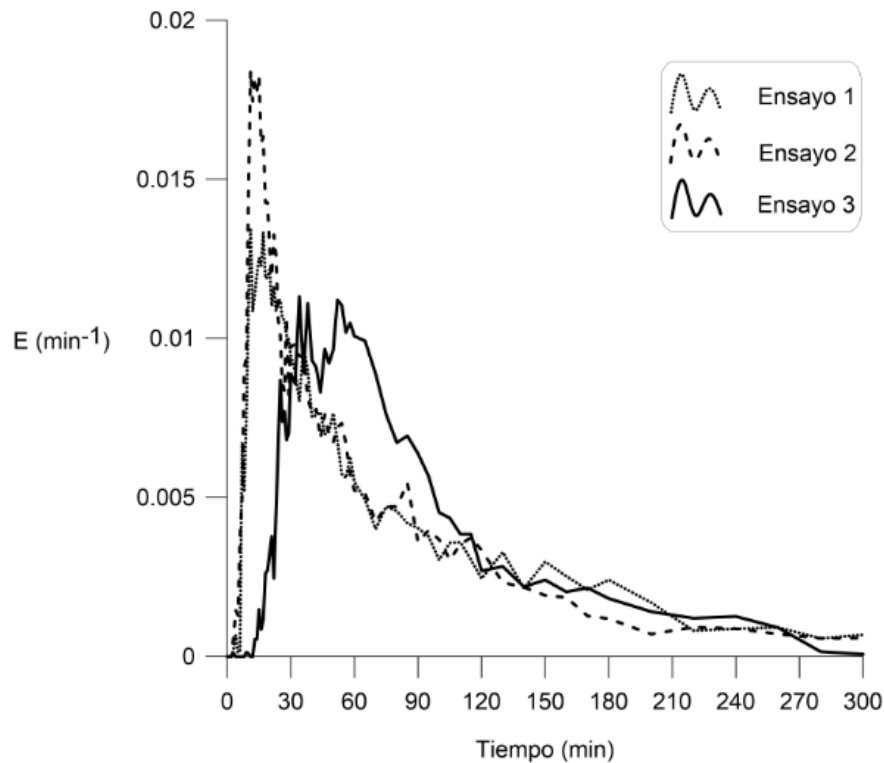


Figura 4.13. Curvas RTD de 3 ensayos experimentales de inyección de trazador en estructura de ingreso codo a 90° al reactor escala laboratorio.

4.2.3.1 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO POR SALIDAS

La distribución de edad del trazador correspondiente a cada salida se presentan semejantes. Las curvas RTD de los ensayos 1 y 2 son muy similares; sin embargo, la curva del ensayo 3 no lo es con las dos anteriores. En el ensayo 3 no se identifica un valor único de pico de $E(t)$, presentándose aparentemente dos picos.

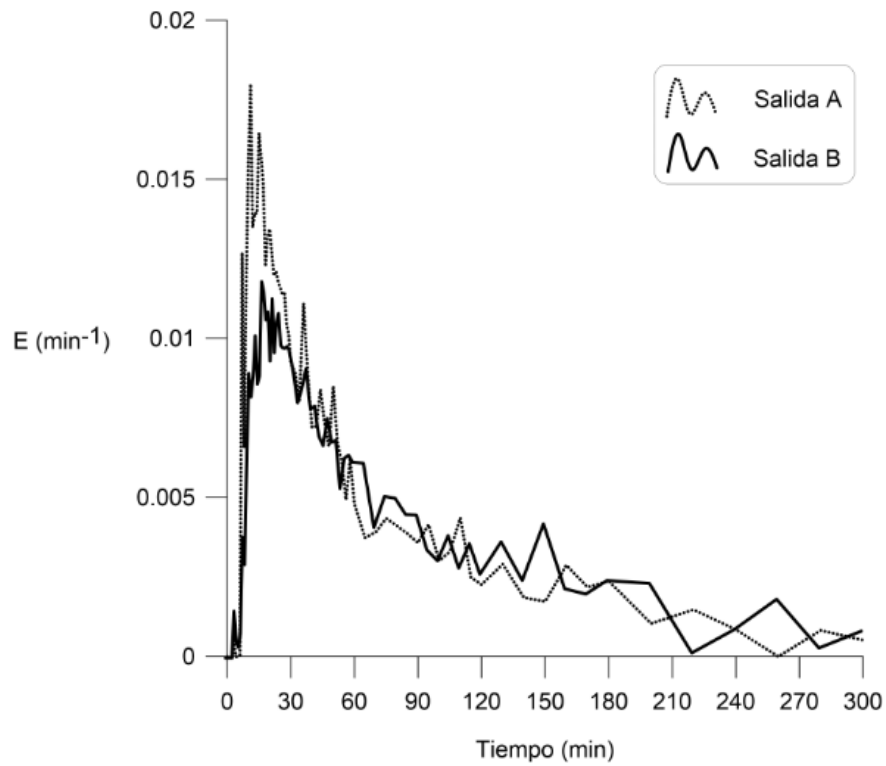


Figura 4.14. Curvas RTD de Salidas A y B. Codo a 90°: Ensayo experimental 1.

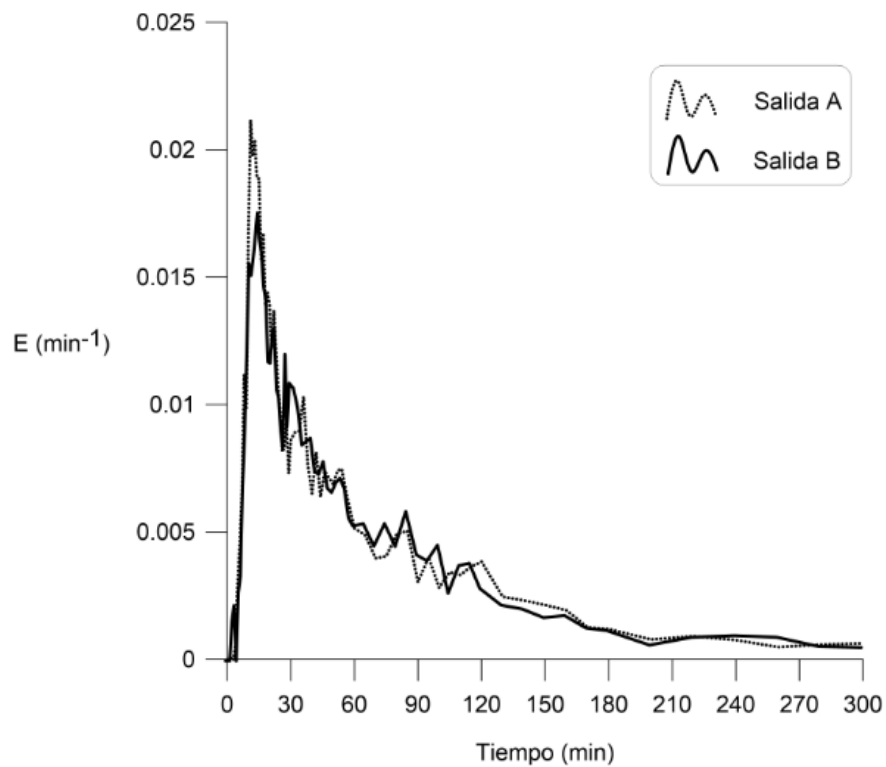


Figura 4.15. Curvas RTD de Salidas A y B. Codo a 90°: Ensayo experimental 2.

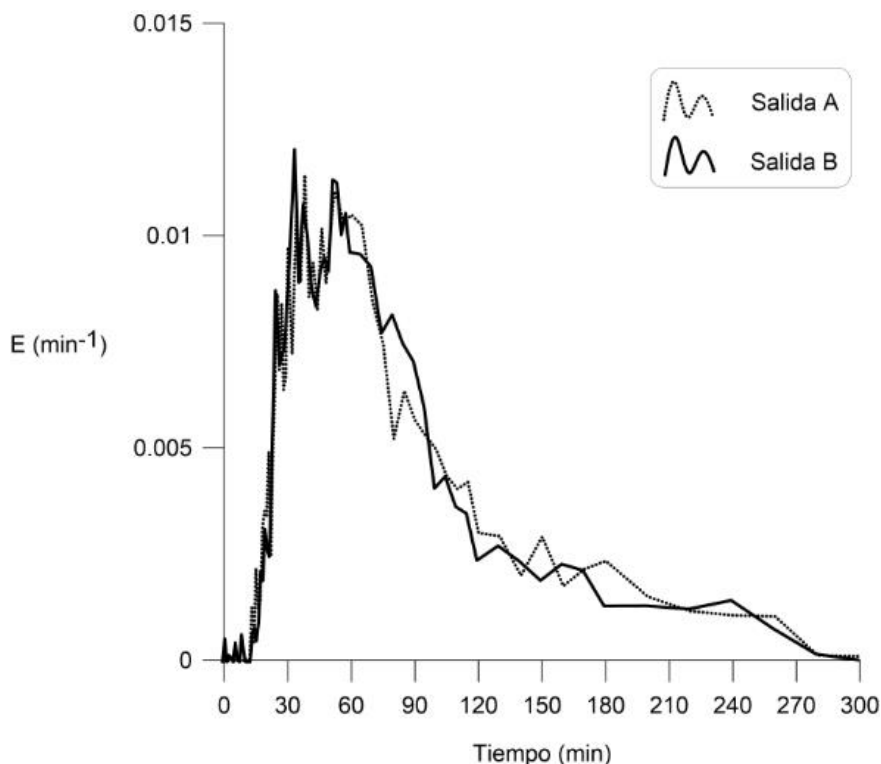


Figura 4.16. Curvas RTD de Salidas A y B. Codo a 90°: Ensayo experimental 3.

4.2.4 ANÁLISIS DE PORCENTAJES VOLUMEN MUERTO Y MASA RECUPERADA

Los porcentajes de masa de trazador recuperada indican la eficiencia que tiene el reactor, es decir, se conoce el porcentaje de masa que permanece dentro del mismo.

Tabla 4.1. Porcentaje de volumen muerto y masa recuperada correspondiente a cada estructura de ingreso

Estructura	No. Ensayo	% Volumen muerto	%Masa recuperada
UN INGRESO LATERAL	1	2.36	45.96
	2	4.21	34.81
	3	19.22	36.93
DOS INGRESOS LATERALES	1	13.03	44.25
	2	<0	37.08
	3	<0	48.57
CODO 90°	1	9.99	29.28
	2	20.45	37.83
	3	2.76	46.71

Como se observa, los tres tipos de estructuras presentan porcentajes de masa recuperada medios y bajos, lo que podría interpretarse como una eficiencia hidráulica baja. Sin embargo, considerando que se busca que el reactor asimile las turbulencias generadas en el momento del ingreso, es probable que se generen en el cuerpo del reactor zonas con velocidades muy bajas que permitan que la rodamina permanezca por tiempos muy prolongados. A pesar que las curvas RTD se describen en forma muy satisfactoria en sus picos y su decadencia, sería recomendable en ensayos posteriores monitorear la curva por un tiempo mucho mayor hasta conocer si la recuperación del trazador aumenta en forma significativa.

Aunque se puede observar un porcentaje de volumen muerto <0 en dos de los ensayos de la estructura de dos entradas, esta no debe entenderse como una eficiencia hidráulica mayor a la unidad, si no como un retroflujo que ocurrió en el sistema. Su baja eficiencia se corrobora con el porcentaje de masa recuperado.

A pesar de contar con los instrumentos adecuados para estos ensayos, el proceso de poner en marcha el reactor presentó varias dificultades debido a los muy pequeños caudales empleados. Se evidenció muchos problemas en el ingreso del caudal debido a que a la entrada se generaba interrupciones momentáneas por presencia de burbujas dentro de las mangueras. Esto puede provocar inestabilidad en el flujo y presentar cortocircuitos. De la misma manera, en el efluente, la estructura del vertedero ante caudales tan pequeños presentaba ciertas variaciones y preferencias en la caída del fluido hacia el canal recolector principalmente debido a la tensión superficial del fluido.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En todas las curvas RTD obtenidas de los ensayos se distingue un retraso inicial de la salida del trazador (en las primeras mediciones), esto indica el predominio de flujo pistón y una larga cola en la parte final de las curvas, lo cual indica zonas de estancamiento dentro del reactor y que se consideraría que tuvo un comportamiento de mezcla completa al final debido a bajas velocidades.

El análisis de balance de masas indica el funcionamiento y eficiencia del reactor. Para que los resultados sean válidos hidráulicamente, se debe inyectar la cantidad de trazador moderada que permita la salida completa de la misma. En esta investigación se presentan porcentajes de masa recuperada medios y bajos lo que indicaría una eficiencia baja de las tres estructuras de ingreso. Sin embargo las curvas RTD obtenidas indican que la metodología es eficiente pero se necesita mayor monitoreo y control para obtener resultados mas precisos. Se debe contemplar también la existencia de pérdida de trazador en cada componente del reactor y que los intervalos de tiempo dispuestos deben ser menores para una mayor obtención de los índices de masa recuperada.

La metodología propuesta para evaluar hidráulicamente las estructuras de ingreso en el reactor UASB permitió obtener resultados confiables, para concluir que dichas estructuras de ingreso, a pesar de producir altas turbulencias localizadas, éstas son absorbidas en el cuerpo del reactor mayoritariamente, describiendo el reactor curvas RTD con picos moderados y largas colas, que representa el funcionamiento de un reactor que se asemeja más a un flujo pistón, condición esperada para este tipo de estructuras.

En la estructura de ingreso de dos entradas, los valores de porcentaje de volumen muerto negativo indican retroflujo o flujo en reversa, correspondiente a una eficiencia hidráulica mayor a la unidad; sin embargo, este no es válido y se verifica la eficiencia de la estructura con el porcentaje de masa recuperada, mismo que indica valores entre 37% a 48%. El retroflujo pudo ser consecuencia de las bajas velocidades para dicha estructura.

Esta investigación es parte de la validación física de la modelación en modelos computacionales de flujo dinámico que se está realizando en el marco de una investigación doctoral.

Los resultados que se presentan en este estudio, a pesar de ser obtenidos bajo condiciones experimentales controladas, es información válida para diseñadores y operadores de estas tecnologías y para investigaciones en reactores a escala piloto y laboratorio.

En futuros ensayos se recomienda modificar el sistema de inyección de trazador al reactor. Al tratarse con caudales muy bajos, si la inyección produce altas velocidades, ésta puede resultar muy perturbadora del flujo.

REFERENCIAS

- Anzola, P., Oliveira, A., & Zaiat, M. (2008). Actividad Metanogénica Específica En Un Reactor Anaerobio - Aerobio Aplicado Al Tratamiento De Agua Residual Doméstica. *Interciencia*, 33(4), 284–289.
- Arocha, S. (1983). Determinación del caudal de diseño. En *Cloacas y Drenajes* (1st ed., pp. 10–39). Madrid.
- Arroyave, D., González, D., & Gallego, M. (2005). EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO UN REACTOR UASB UTILIZADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.
- Bermúdez, Rosa; Rodríguez, Suyen; Martínez, Mirna; Terry, A. (2003). Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogas. *Tecnología Química*, 23(2), 37–44.
- Bolle, W., van Breugel, J., van Eybergen, G., Kossen, N., & Zoetemeyer, R. (1986). Modeling the liquid flow in up-flow anaerobic sludge blanket reactors. *Biotechnology and Bioengineering*, 28, 1615–1620.
- Broun, T., Boizán, F., & Almeida, Z. (2008). CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DESARROLLO DE UNA ESTRATEGIA DE GRANULACIÓN EN REACTORES UASB.
- Chanson, H. (2002). *Hidraulica Del Flujo en Canales Abiertos*.
- Chernicaró CAMBIAR, C. A. de L. (2007). *Biological Wastewater Treatment Vol.4: Anaerobic Reactors. Biological wastewater treatment in warm climate regions* (Vol. 4).
- Chernicharo, C. A. de L. (2007). *Design of Anaerobic Reactors. Anaerobic Reactors* (4th ed.). IWA.
- Conil, P. (2000). Avances conceptuales para el tratamiento de las aguas residuales domésticas (ARD) en el trópico, y estudio de casos. In *Congreso Nacional ACODAL Tratamiento y Uso de Aguas Residuales: Una Estrategia para el Futuro del Saneamiento*, 43 (p. 38).
- Cunill, F., Iborra, M., & Tejero, J. (2010). *Reactores químicos-apuntes. Reactores químicos-apuntes*.
- Fernández, F., & Seghezzo, L. (2015). Diseño de Reactores Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). *Inti*, 70–79.
- Fogler, S. (2006). *Elementos de Ingeniería de Las Reacciones Químicas*. (G. Trujano Mendoza, Ed.) (3a. ed.).
- Galvis Castaño, G., & Pérez Carrión, J. (1985). *Análisis de flujos y factores que determinan los períodos de retención; manual de instrucción*. Cali: Cali; Universidad del Valle.

- Gandarillas, V., Saavedra, O., Escalera, R., & Montoya, R. (2017). REVISIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE REACTORES UASB EN COCHABAMBA-BOLIVIA COMPARADAS CON LAS DE LATINOAMÉRICA, INDIA Y EUROPA. *INVESTIGACIÓN & DESARROLLO*, 1(17), 83–98.
- Grady, L., Daigger, G., Love, N., & Filipe, C. (2011). *Biological wastewater treatment*. (IWA, Ed.) (3rd ed.). Boca Raton: CRP Press.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, I. (2017). Analisis climatologico decadal 21 - 30.
- Ji, J., Zheng, K., Xing, Y., & Zheng, P. (2012). Hydraulic characteristics and their effects on working performance of compartmentalized anaerobic reactor. *Bioresource Technology*, 116, 47–52.
- Lettinga, G., Roersma, R., & Grin, P. (1983). Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage at Ambient-Temperatures Using a Granular Bed Uasb Reactor. *Biotechnology and Bioengineering*, 25(7), 1701–1723.
- Levenspiel, O. (1987). *Ingeniería De Las Reacciones Químicas* (2nd ed.).
- Levenspiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering* (3rd ed.). New York.
- Lorenzo, Y., & Obaya, M. (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generalidades. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar.*, 40(1), 13–21.
- Mayorga, J., Chávez, R., Mayorga, O., Delgado-Linares, J., Sánchez, R., & Delgado-Linares, G. (2014). Escalamiento del reactor del proceso de coquización retardada. *Ciencia E Ingeniería*, 35(3), 147–156.
- Moraes, B., Zaiat, M., & Bonomi, A. (2015). Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 888–903.
- Pérez, A., Díaz, J., Camilo, D., & Castañeda, V. (2015). Efecto de la formacion de manto de lodos sobre el comportamiento hidrodinámico de un reactor UASB a escala real . Estudio de caso : Sotaquirá , Colombia, (1), 10–29.
- Pérez, A., & Torres, P. (2008). Evaluación del comportamiento hidrodinámico como herramienta para optimización de reactores anaerobios de crecimiento en medio fijo. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La Universidad de Antioquía*, (45), 27–40.
- Rocha, M., de Souza, H., & de Andrade, C. (2000). APLICAÇÃO DE TRAÇADORES EM FILTROS ANAERÓBIOS PARA AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS. In *XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- Romero Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales teoria y principios de diseño*. (E. C. de Ingeniería, Ed.) (3er. ed.). Bogota.
- Ruiz, Isabel; Álvarez Juan; Soto, M. (2016). El Potencial De La Digestión Anaerobia En

El Tratamiento De Aguas Residuales Urbanas Y Efluentes De Baja Carga Orgánica, (November).

- Schmidt, J. E., & Ahring, B. K. (1996). Granular Sludge Formation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors. *Biotechnology and Bioengineering*, 49(4), 229–246.
- SENAGUA. (n.d.). *Norma CO 10.7 - 602 - Revisión. Norma De Diseño Para Sistemas De Abastecimiento De Agua Potable, Disposición De Excretas y Residuos Líquidos En El Área Rural*.
- Torres, P. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *Revista EIA*, 115–129. <http://doi.org/10.1533/tepr>
- Van der Last, A. R. M., & Lettinga, G. (1992). Anaerobic Treatment of Domestic Sewage under Moderate Climatic (Dutch) Conditions Using Upflow Reactors at Increased Superficial Velocities. *Water Science and Technology*, 25(7), 167–178.
- von Sperling, M. (2007a). *Basic principles of wastewater treatment*. IWA.
- von Sperling, M. (2007b). *Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*. (Aptara Inc., Ed.). New Delhi: IWA.

ANEXOS

ANEXO 1

ESTRUCTURA DE INGRESO: UNA ENTRADA ENSAYO 1

Fecha: 27-oct-17 **Hora inicio:** 18:00 **Inyección de trazador:** 0.1ml de 232000 ppb
Hora fin: 1:00
Temperatura promedio: 21.0 °C
Caudal de calibración: 11.5 ml/s **TRH:** 1.6h
Revoluciones de calibración: 25 rev

Tiempo [min]	Lectura de Fluorómetro (ppb)									TEMP (°C)	Resultado con Ecuación de Calibración (ppb)								
	A1	A2	A3	Promedio A	B1	B2	B3	Promedio B	Promedio A y B	T	RA1	RA2	RA3	Promedio RA	RB1	RB2	RB3	Promedio RB	Promedio RA y RB
0:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:01:00	-1.069	-0.981	-1.036	-1.029	-0.833	-0.873	-0.98	-0.895	-0.962	22	-0.565	-0.476	-0.532	-0.524	-0.326	-0.366	-0.475	-0.389	-0.457
0:02:00	-0.239	-0.371	-0.277	-0.296	-0.277	-0.481	-0.467	-0.408	-0.352		0.277	0.143	0.239	0.220	0.239	0.032	0.046	0.105	0.163
0:03:00	-0.338	-0.131	-0.095	-0.188	-0.851	-0.827	-0.919	-0.866	-0.527		0.177	0.387	0.424	0.329	-0.344	-0.320	-0.413	-0.359	-0.015
0:04:00	-0.25	-0.268	-0.357	-0.292	-0.102	-0.047	-0.026	-0.058	-0.175		0.266	0.248	0.158	0.224	0.416	0.472	0.494	0.461	0.342
0:05:00	-0.52	-0.589	-0.413	-0.507	-0.323	-0.253	-0.319	-0.298	-0.403	22	-0.008	-0.078	0.101	0.005	0.192	0.263	0.196	0.217	0.111
0:06:00	-0.166	-0.026	-0.119	-0.104	-0.771	-0.777	-0.706	-0.751	-0.428		0.351	0.494	0.399	0.415	-0.263	-0.269	-0.197	-0.243	0.086
0:07:00	-0.583	-0.433	-0.496	-0.504	-0.532	-0.441	-0.416	-0.463	-0.484		-0.072	0.080	0.016	0.008	-0.020	0.072	0.098	0.050	0.029
0:08:00	0.039	0.05	0.078	0.056	0.356	0.28	0.505	0.380	0.218		0.560	0.571	0.599	0.577	0.881	0.804	1.033	0.906	0.741
0:09:00	0.103	0.087	0.068	0.086	0.815	0.69	0.77	0.758	0.422		0.625	0.608	0.589	0.607	1.347	1.221	1.302	1.290	0.949
0:10:00	1.467	1.575	1.525	1.522	1.21	1.034	1.037	1.094	1.308	22	2.009	2.119	2.068	2.066	1.749	1.570	1.573	1.630	1.848
0:11:00	3.615	3.52	3.325	3.487	3.511	3.498	3.455	3.488	3.487		4.190	4.094	3.896	4.060	4.085	4.072	4.028	4.061	4.061
0:12:00	6.172	6.017	6.922	6.370	5.28	5.28	5.21	5.257	5.814		6.786	6.629	7.548	6.988	5.881	5.881	5.810	5.857	6.422
0:13:00	8.928	8.782	8.911	8.874	6.5	6.54	6.72	6.587	7.730		9.585	9.436	9.567	9.529	7.119	7.160	7.343	7.207	8.368
0:14:00	9.569	9.268	9.365	9.401	7.267	7.584	7.443	7.431	8.416		10.235	9.930	10.028	10.064	7.898	8.220	8.077	8.065	9.065
0:15:00	10.76	10.75	10.89	10.800	15.38	15.26	15.24	15.293	13.047	22	11.445	11.434	11.577	11.485	16.135	16.013	15.993	16.047	13.766
0:16:00	15.76	15.53	15.92	15.737	13.22	13.31	13.48	13.337	14.537		16.521	16.288	16.684	16.497	13.942	14.034	14.206	14.061	15.279
0:17:00	15.26	15.2	15.34	15.267	14.25	14.48	15.37	14.700	14.983		16.013	15.953	16.095	16.020	14.988	15.222	16.125	15.445	15.733
0:18:00	14.46	14.26	14.27	14.330	14.1	14.18	14.25	14.177	14.253		15.201	14.998	15.008	15.069	14.836	14.917	14.988	14.914	14.991
0:19:00	13.64	13.7	13.47	13.603	12.46	12.58	12.67	12.570	13.087		14.369	14.430	14.196	14.331	13.171	13.292	13.384	13.282	13.807
0:20:00	12.17	12.11	12.14	12.140	11.81	11.43	11.53	11.590	11.865	22	12.876	12.815	12.846	12.846	12.511	12.125	12.226	12.287	12.567
0:21:00	13.86	13.87	13.84	13.857	12.53	12.64	12.85	12.673	13.265		14.592	14.602	14.572	14.589	13.242	13.353	13.567	13.387	13.988
0:22:00	10.35	10.35	10.26	10.320	9.187	9.364	9.364	9.305	9.813		11.028	11.028	10.937	10.998	9.848	10.027	10.027	9.967	10.483
0:23:00	9.308	9.471	9.383	9.387	10.93	10.96	10.09	10.660	10.024		9.970	10.136	10.047	10.051	11.617	11.648	10.764	11.343	10.697
0:24:00	10.275	10.458	10.471	10.401	8.682	8.851	8.806	8.780	9.591		10.952	11.138	11.151	11.080	9.335	9.506	9.461	9.434	10.257
0:25:00	8.725	8.591	8.657	8.658	8.063	8.011	8.014	8.029	8.344	22	9.378	9.242	9.309	9.310	8.706	8.654	8.657	8.672	8.991
0:26:00	7.183	7.054	7.952	7.396	7.53	7.85	7.61	7.663	7.530		7.813	7.682	8.594	8.029	8.165	8.490	8.246	8.301	8.165
0:27:00	9.257	9.136	9.045	9.146	8.35	8.24	8.45	8.347	8.746		9.919	9.796	9.703	9.806	8.998	8.886	9.099	8.994	9.400
0:28:00	6.431	6.197	6.348	6.325	7.28	7.34	7.28	7.300	6.813		7.049	6.812	6.965	6.942	7.911	7.972	7.911	7.932	7.437
0:29:00	8.545	8.507	8.484	8.512	6.79	6.76	6.66	6.737	7.624		9.196	9.157	9.134	9.162	7.414	7.383	7.282	7.360	8.261
0:30:00	7.349	7.318	7.113	7.260	7.07	6.87	6.86	6.933	7.097	22	7.981	7.950	7.742	7.891	7.698	7.495	7.485	7.559	7.725
0:32:00	6.303	6.512	6.413	6.409	6.7	6.7	6.63	6.677	6.543		6.919	7.132	7.031	7.027	7.323	7.323	7.251	7.299	7.163
0:34:00	5.621	5.784	5.651	5.685	5.659	5.582	5.563	5.601	5.643		6.227	6.392	6.257	6.292	6.266	6.187	6.168	6.207	6.250
0:36:00	7.507	7.583	7.613	7.568	5.87	5.89	5.82	5.860	6.714	22	8.142	8.219	8.249	8.203	6.480	6.500	6.429	6.470	7.337



0:38:00	5.594	5.561	5.704	5.620	6.305	6.334	8.438	7.026	6.323		6.200	6.166	6.311	6.226	6.921	6.951	9.087	7.653	6.939
0:40:00	8.845	8.975	8.919	8.913	7.375	7.431	7.348	7.385	8.149		9.500	9.632	9.575	9.569	8.008	8.065	7.980	8.018	8.794
0:42:00	9.347	9.273	9.322	9.314	8.284	8.416	8.417	8.372	8.843		10.010	9.935	9.985	9.977	8.931	9.065	9.066	9.020	9.498
0:44:00	7.313	7.307	7.27	7.297	8.2	8.35	7.94	8.163	7.730	22	7.945	7.939	7.901	7.928	8.845	8.998	8.581	8.808	8.368
0:46:00	6.399	6.402	6.378	6.393	6.178	6.454	6.295	6.309	6.351		7.017	7.020	6.996	7.011	6.793	7.073	6.911	6.926	6.968
0:48:00	5.645	5.722	5.714	5.694	5.9	6.09	5.99	5.993	5.844		6.251	6.330	6.321	6.301	6.510	6.703	6.602	6.605	6.453
0:50:00	4.722	4.701	4.611	4.678	5.41	5.56	5.45	5.473	5.076		5.314	5.293	5.202	5.270	6.013	6.165	6.053	6.077	5.673
0:52:00	6.316	6.418	6.429	6.388	7.349	7.428	7.391	7.389	6.889		6.933	7.036	7.047	7.005	7.981	8.062	8.024	8.022	7.514
0:54:00	6.11	6.024	6.121	6.085	5.88	5.66	5.84	5.793	5.939	22	6.723	6.636	6.735	6.698	6.490	6.267	6.449	6.402	6.550
0:56:00	4.749	4.781	4.743	4.758	4.135	4.016	4.21	4.120	4.439		5.342	5.374	5.336	5.350	4.718	4.597	4.794	4.703	5.027
0:58:00	4.242	4.193	4.205	4.213	4.8	4.02	3.96	4.260	4.237		4.827	4.777	4.789	4.798	5.393	4.602	4.541	4.845	4.821
1:00:00	3.881	3.815	3.852	3.849	6.47	6.5	6.41	6.460	5.155	22	4.460	4.393	4.431	4.428	7.089	7.119	7.028	7.079	5.754
1:05:00	3.701	3.658	3.661	3.673	5.084	5.197	5.105	5.129	4.401		4.278	4.234	4.237	4.250	5.682	5.797	5.703	5.727	4.988
1:10:00	5.711	5.803	5.738	5.751	4.83	4.694	4.842	4.789	5.270	22	6.318	6.412	6.346	6.359	5.424	5.286	5.436	5.382	5.870
1:15:00	3.463	3.466	3.512	3.480	4.472	4.353	4.442	4.422	3.951		4.036	4.039	4.086	4.054	5.060	4.940	5.030	5.010	4.532
1:20:00	3.262	3.225	3.184	3.224	4.911	5.016	5.094	5.007	4.115		3.832	3.794	3.753	3.793	5.506	5.613	5.692	5.604	4.698
1:25:00	2.824	2.874	2.931	2.876	3.261	3.145	3.164	3.190	3.033	22	3.387	3.438	3.496	3.440	3.831	3.713	3.732	3.759	3.600
1:30:00	2.774	2.781	2.818	2.791	3.928	3.815	3.742	3.828	3.310		3.336	3.344	3.381	3.354	4.508	4.393	4.319	4.407	3.880
1:35:00	2.714	2.711	2.711	2.712	2.516	2.492	2.412	2.473	2.593	22	3.276	3.272	3.272	3.273	3.074	3.050	2.969	3.031	3.152
1:40:00	1.292	1.327	1.366	1.328	1.547	1.701	1.688	1.645	1.487		1.832	1.867	1.907	1.869	2.091	2.247	2.234	2.191	2.030
1:45:00	2.599	2.702	2.686	2.662	2.497	2.624	2.639	2.587	2.625	22	3.159	3.263	3.247	3.223	3.055	3.184	3.199	3.146	3.185
1:50:00	2.365	2.287	2.332	2.328	1.88	2.119	1.938	1.979	2.154		2.921	2.842	2.888	2.884	2.429	2.671	2.488	2.529	2.706
1:55:00	1.195	1.202	1.84	1.412	1.371	1.427	1.488	1.429	1.421		1.733	1.740	2.388	1.954	1.912	1.969	2.031	1.971	1.962
2:00:00	2.011	2.005	1.991	2.002	3.03	2.991	2.946	2.989	2.496	22	2.562	2.556	2.541	2.553	3.596	3.557	3.511	3.555	3.054
2:10:00	2.105	2.041	2.071	2.072	2.686	2.737	2.766	2.730	2.401		2.657	2.592	2.623	2.624	3.247	3.299	3.328	3.291	2.958
2:20:00	1.464	1.423	1.473	1.453	1.792	1.768	1.765	1.775	1.614	22	2.006	1.965	2.016	1.996	2.339	2.315	2.312	2.322	2.159
2:30:00	1.479	1.485	1.47	1.478	1.628	1.397	1.553	1.526	1.502		2.022	2.028	2.012	2.021	2.173	1.938	2.097	2.069	2.045
2:40:00	1.34	1.311	1.383	1.345	1.371	1.353	1.388	1.371	1.358	22	1.881	1.851	1.924	1.885	1.912	1.894	1.929	1.912	1.898
2:50:00	1.299	1.276	1.264	1.280	1.22	1.234	1.242	1.232	1.256		1.839	1.816	1.803	1.819	1.759	1.773	1.781	1.771	1.795
3:00:00	1.145	1.184	1.185	1.171	1.145	1.133	1.163	1.147	1.159	22	1.683	1.722	1.723	1.709	1.683	1.670	1.701	1.685	1.697
3:20:00	0.657	0.678	0.684	0.673	0.481	0.626	0.546	0.551	0.612		1.187	1.208	1.214	1.203	1.008	1.156	1.074	1.079	1.141
3:40:00	1.312	1.326	1.253	1.297	1.394	1.393	1.383	1.390	1.344	22	1.852	1.866	1.792	1.837	1.935	1.934	1.924	1.931	1.884
4:00:00	1.178	1.165	1.181	1.175	1.052	1.211	1.078	1.114	1.144		1.716	1.703	1.719	1.713	1.588	1.750	1.614	1.651	1.682
4:20:00	0.499	0.431	0.469	0.466	0.57	0.515	0.527	0.537	0.502	22	1.027	0.958	0.996	0.993	1.099	1.043	1.055	1.066	1.030
4:40:00	0.256	0.288	0.252	0.265	0.118	0.154	0.119	0.130	0.198		0.780	0.812	0.776	0.789	0.640	0.676	0.641	0.652	0.721
5:00:00	0.0245	0.02	0.096	0.047	0.0312	0.0371	0.0302	0.033	0.040	22	0.545	0.540	0.617	0.568	0.552	0.558	0.551	0.553	0.560

ANEXO 2

ESTRUCTURA DE INGRESO: UNA ENTRADA ENSAYO 2

Fecha: 01-nov-17 **Hora inicio:** 18:00 **Inyección de trazador:** 0.1ml de 232000 ppb
Hora fin: 1:00
Temperatura promedio: 19.4 °C
Caudal de calibración: 11.5 ml/min **TRH:** 1.6h
Revoluciones de calibración: 27 rev

Tiempo [min]	Lectura de Fluorómetro (ppb)									TEMP (°C)	Resultado con Ecuación de Calibración (ppb)								
	A1	A2	A3	Promedio A	B1	B2	B3	Promedio B	Promedio A y B	T	RA1	RA2	RA3	Promedio RA	RB1	RB2	RB3	Promedio RB	Promedio RA y RB
0:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0:01:00	-0.426	-0.545	-0.575	-0.515	-0.184	-0.248	-0.278	-0.237	-0.376	18.0	0.087	-0.033	-0.064	-0.003	0.333	0.268	0.238	0.280	0.138
0:02:00	0.638	0.548	0.597	0.594	-0.896	-1.149	-1.051	-1.032	-0.219		1.168	1.076	1.126	1.123	-0.390	-0.647	-0.547	-0.528	0.298
0:03:00	0.622	0.505	0.379	0.502	3.188	2.536	2.611	2.778	1.640		1.152	1.033	0.905	1.030	3.757	3.095	3.171	3.341	2.185
0:04:00	13.840	13.700	13.720	13.753	17.050	16.830	16.600	16.827	15.290		14.572	14.430	14.450	14.484	17.831	17.607	17.374	17.604	16.044
0:05:00	14.570	14.480	14.010	14.353	12.550	12.390	12.440	12.460	13.407		15.313	15.222	14.744	15.093	13.262	13.100	13.150	13.171	14.132
0:06:00	6.779	6.659	6.670	6.703	12.010	11.880	11.730	11.873	9.288		7.403	7.281	7.292	7.325	12.714	12.582	12.429	12.575	9.950
0:07:00	9.676	9.705	9.652	9.678	8.417	8.418	8.179	8.338	9.008		10.344	10.373	10.320	10.346	9.066	9.067	8.824	8.986	9.666
0:08:00	7.912	7.824	7.737	7.824	8.079	8.072	7.946	8.032	7.928		8.553	8.464	8.375	8.464	8.723	8.716	8.588	8.675	8.570
0:09:00	7.389	7.449	7.380	7.406	10.220	10.300	10.190	10.237	8.821		8.022	8.083	8.013	8.039	10.896	10.978	10.866	10.913	9.476
0:10:00	7.790	7.809	7.713	7.771	9.239	9.236	8.943	9.139	8.455	18.5	8.429	8.448	8.351	8.410	9.900	9.897	9.600	9.799	9.104
0:11:00	6.766	6.479	6.660	6.635	6.364	6.177	5.944	6.162	6.398		7.390	7.098	7.282	7.257	6.981	6.792	6.555	6.776	7.016
0:12:00	6.459	6.417	6.228	6.368	7.965	7.886	8.016	7.956	7.162		7.078	7.035	6.843	6.985	8.607	8.527	8.659	8.597	7.791
0:13:00	6.643	6.600	6.652	6.368	6.866	6.774	6.596	6.745	6.557		7.265	7.221	7.274	7.253	7.491	7.398	7.217	7.369	7.311
0:14:00	7.193	7.019	7.077	6.632	5.767	5.776	6.043	5.862	6.247		7.823	7.646	7.705	7.725	6.375	6.384	6.655	6.472	7.098
0:15:00	6.010	6.014	5.953	5.992	6.250	6.218	6.367	6.278	6.135		6.622	6.626	6.564	6.604	6.866	6.833	6.984	6.894	6.749
0:16:00	6.366	6.580	6.429	6.458	5.427	5.423	5.467	5.439	5.949		6.983	7.201	7.047	7.077	6.030	6.026	6.071	6.042	6.560
0:17:00	5.890	5.918	5.986	5.931	5.090	5.041	5.089	5.073	5.502		6.500	6.529	6.598	6.542	5.688	5.638	5.687	5.671	6.107
0:18:00	5.812	5.856	5.700	5.789	4.623	4.663	4.670	4.652	5.221		6.421	6.466	6.307	6.398	5.214	5.254	5.261	5.243	5.821
0:19:00	5.931	5.306	5.110	5.449	5.662	5.533	5.586	5.594	5.521		6.542	5.907	5.708	6.052	6.269	6.138	6.191	6.199	6.126
0:20:00	4.177	4.119	4.272	4.189	5.646	5.669	5.638	5.651	4.920	19.0	4.761	4.702	4.857	4.773	6.252	6.276	6.244	6.257	5.515
0:21:00	4.950	4.839	4.925	4.905	5.446	5.469	5.438	5.451	5.178		5.546	5.433	5.520	5.500	6.049	6.073	6.041	6.054	5.777
0:22:00	4.848	4.863	4.846	4.852	5.019	4.924	5.062	5.002	4.927		5.442	5.457	5.440	5.447	5.616	5.519	5.659	5.598	5.522
0:23:00	5.031	4.931	4.975	4.979	5.349	5.275	5.312	5.312	5.146		5.628	5.526	5.571	5.575	5.951	5.876	5.913	5.913	5.744
0:24:00	5.170	5.167	5.218	5.185	4.580	4.679	4.615	4.625	4.905		5.769	5.766	5.818	5.784	5.170	5.271	5.206	5.215	5.500
0:25:00	4.599	4.544	4.571	4.571	4.486	4.470	4.095	4.350	4.461		5.189	5.134	5.161	5.161	5.075	5.058	4.678	4.937	5.049
0:26:00	5.735	5.799	5.663	5.732	5.346	5.217	5.008	5.190	5.461		6.343	6.408	6.270	6.340	5.948	5.817	5.605	5.790	6.065
0:27:00	5.285	5.282	5.332	5.300	4.347	4.138	4.138	4.208	4.754		5.886	5.883	5.934	5.901	4.934	4.721	4.721	4.792	5.346
0:28:00	4.754	4.707	4.677	4.713	2.347	2.397	2.314	2.353	3.533		5.347	5.299	5.269	5.305	2.903	2.954	2.869	2.909	4.107
0:29:00	4.499	4.647	4.652	4.599	3.942	3.310	3.236	3.496	4.048		5.088	5.238	5.243	5.190	4.522	3.881	3.806	4.069	4.630
0:30:00	5.348	5.381	5.260	5.330	4.930	4.823	4.521	4.758	5.044	19.0	5.950	5.983	5.860	5.931	5.525	5.417	5.110	5.351	5.641
0:32:00	3.632	3.699	3.794	3.708	5.179	5.415	5.217	5.270	4.489		4.208	4.276	4.372	4.285	5.778	6.018	5.817	5.871	5.078
0:34:00	4.347	4.529	4.453	4.443	4.572	4.444	4.452	4.489	4.466		4.934	5.118	5.041	5.031	5.162	5.032	5.040	5.078	5.054
0:36:00	3.569	3.596	3.480	3.548	4.499	4.659	4.593	4.584	4.066		4.144	4.171	4.053	4.123	5.088	5.250	5.183	5.174	4.648



0:38:00	4.491	4.382	4.258	4.377	2.222	2.308	2.234	2.255	3.316		5.080	4.969	4.843	4.964	2.776	2.863	2.788	2.809	3.887
0:40:00	2.792	2.878	3.087	2.919	3.131	3.086	3.055	3.091	3.005		3.355	3.442	3.654	3.484	3.699	3.653	3.622	3.658	3.571
0:42:00	4.061	4.257	4.091	4.136	3.744	3.781	3.660	3.728	3.932		4.643	4.842	4.674	4.720	4.321	4.359	4.236	4.305	4.512
0:44:00	3.753	3.644	3.552	3.650	2.712	2.738	2.801	2.750	3.200		4.330	4.220	4.126	4.226	3.273	3.300	3.364	3.312	3.769
0:46:00	3.884	3.744	3.718	3.782	3.488	3.309	3.463	3.420	3.601		4.463	4.321	4.295	4.360	4.061	3.880	4.036	3.992	4.176
0:48:00	2.830	2.738	2.767	2.778	2.242	2.355	2.247	2.281	2.530		3.393	3.300	3.329	3.341	2.796	2.911	2.801	2.836	3.089
0:50:00	3.265	3.218	3.316	3.266	3.316	3.113	3.179	3.203	3.235		3.835	3.787	3.887	3.836	3.887	3.681	3.748	3.772	3.804
0:52:00	2.524	2.495	2.467	2.495	1.207	1.065	1.251	1.174	1.835		3.083	3.053	3.025	3.054	1.745	1.601	1.790	1.712	2.383
0:54:00	2.858	2.724	2.915	2.832	2.801	2.839	2.745	2.795	2.814		3.422	3.286	3.480	3.396	3.364	3.402	3.307	3.358	3.377
0:56:00	3.070	3.481	3.379	3.310	2.400	2.466	2.256	2.374	2.842		3.637	4.054	3.951	3.881	2.957	3.024	2.811	2.930	3.405
0:58:00	1.389	1.332	1.307	1.343	1.602	1.280	1.293	1.392	1.367		1.930	1.872	1.847	1.883	2.147	1.820	1.833	1.933	1.908
1:00:00	2.149	2.311	2.031	2.164	1.039	1.176	1.149	1.121	1.643	19.0	2.702	2.866	2.582	2.717	1.575	1.714	1.687	1.658	2.188
1:05:00	3.809	3.886	3.754	3.816	2.558	2.540	2.594	2.564	3.190		4.387	4.465	4.331	4.395	3.117	3.099	3.154	3.123	3.759
1:10:00	2.224	2.221	2.198	2.214	2.975	2.707	2.906	2.863	2.539		2.778	2.775	2.752	2.768	3.541	3.268	3.470	3.426	3.097
1:15:00	2.675	2.625	2.460	2.587	2.342	2.333	2.257	2.311	2.449		3.236	3.185	3.018	3.146	2.898	2.889	2.812	2.866	3.006
1:20:00	2.578	2.651	2.498	2.576	3.020	2.905	2.903	2.943	2.759		3.137	3.212	3.056	3.135	3.586	3.469	3.467	3.508	3.321
1:25:00	3.235	3.017	3.187	3.146	2.357	2.341	2.464	2.387	2.767		3.804	3.583	3.756	3.714	2.913	2.897	3.022	2.944	3.329
1:30:00	2.926	3.007	2.909	2.947	1.525	1.631	1.534	1.563	2.255	19.5	3.491	3.573	3.474	3.512	2.068	2.176	2.077	2.107	2.810
1:35:00	2.392	2.264	2.141	2.266	2.351	2.238	2.368	2.319	2.292		2.949	2.819	2.694	2.820	2.907	2.792	2.924	2.874	2.847
1:40:00	2.234	2.210	2.118	2.187	1.284	1.369	1.299	1.317	1.752		2.788	2.764	2.670	2.741	1.824	1.910	1.839	1.857	2.299
1:45:00	1.766	1.679	1.742	1.729	1.243	1.321	1.202	1.255	1.492		2.313	2.225	2.289	2.275	1.782	1.861	1.740	1.795	2.035
1:50:00	1.791	1.745	1.684	1.740	1.934	2.035	1.964	1.978	1.859		2.338	2.292	2.230	2.287	2.484	2.586	2.514	2.528	2.407
1:55:00	1.796	1.544	1.512	1.617	2.333	2.272	2.438	2.348	1.983		2.343	2.088	2.055	2.162	2.889	2.827	2.995	2.904	2.533
2:00:00	1.415	1.421	1.254	1.363	1.511	1.518	1.429	1.486	1.425	20.0	1.957	1.963	1.793	1.904	2.054	2.061	1.971	2.029	1.966
2:10:00	1.105	1.189	1.111	1.135	1.572	1.583	1.623	1.593	1.364		1.642	1.727	1.648	1.672	2.116	2.127	2.168	2.137	1.905
2:20:00	0.690	0.698	0.764	0.717	1.187	1.264	1.124	1.192	0.955		1.221	1.229	1.296	1.248	1.725	1.803	1.661	1.730	1.489
2:30:00	1.258	1.370	1.157	1.262	1.042	1.006	1.048	1.032	1.147	20.0	1.797	1.911	1.695	1.801	1.578	1.541	1.584	1.568	1.684
2:40:00	0.747	0.881	0.863	0.830	1.120	1.234	1.187	1.180	1.005		1.278	1.414	1.396	1.363	1.657	1.773	1.725	1.718	1.541
2:50:00	1.104	1.128	1.117	1.116	0.984	0.997	1.002	0.994	1.055		1.641	1.665	1.654	1.653	1.519	1.532	1.537	1.530	1.591
3:00:00	1.230	1.311	1.504	1.348	0.815	0.756	0.957	0.843	1.096	20.0	1.769	1.851	2.047	1.889	1.347	1.288	1.492	1.376	1.632
3:20:00	0.574	0.668	0.548	0.597	0.408	0.564	0.668	0.547	0.572		1.103	1.198	1.076	1.126	0.934	1.093	1.198	1.075	1.100
3:40:00	0.846	0.842	0.726	0.805	0.927	0.696	0.773	0.799	0.802		1.379	1.375	1.257	1.337	1.461	1.227	1.305	1.331	1.334
4:00:00	0.355	0.312	0.299	0.322	0.674	0.839	0.763	0.759	0.540	20.0	0.880	0.837	0.824	0.847	1.204	1.372	1.295	1.290	1.069
4:20:00	0.272	0.214	0.278	0.255	0.792	0.894	0.853	0.846	0.551		0.796	0.737	0.802	0.779	1.324	1.428	1.386	1.379	1.079
4:40:00	0.021	0.026	0.039	0.029	0.531	0.574	0.560	0.555	0.292		0.541	0.546	0.560	0.549	1.059	1.103	1.089	1.083	0.816
5:00:00	0.069	0.086	0.098	0.084	0.216	0.260	0.208	0.228	0.156	20.0	0.590	0.607	0.619	0.606	0.739	0.784	0.731	0.751	0.679

ANEXO 3

ESTRUCTURA DE INGRESO: UNA ENTRADA ENSAYO 3

Fecha: 01-nov-17 **Hora inicio:** **Inyección de trazador:** 0.1ml de 232000 ppb
Hora fin:
Temperatura promedio: 20.3 °C
Caudal de calibración: 11.5 ml/s **TRH:** 1.6h
Revoluciones de calibración: 27 rev

Tiempo [min]	Lectura de Fluorómetro (ppb)									TEMP (°C)	Resultado con Ecuación de Calibración (ppb)								
	A1	A2	A3	Promedio A	B1	B2	B3	Promedio B	Promedio A y B	T	RA1	RA2	RA3	Promedio RA	RB1	RB2	RB3	Promedio RB	Promedio RA y RB
0:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0:01:00	0.546	0.501	0.573	0.540	-0.015	-0.030	-0.102	-0.049	0.246	20	1.074	1.029	1.102	1.068	0.505	0.490	0.416	0.470	0.769
0:02:00	-0.510	-0.168	-0.243	-0.307	-0.236	-0.197	-0.099	-0.177	-0.242		0.002	0.349	0.273	0.208	0.280	0.320	0.419	0.340	0.274
0:03:00	-0.234	-0.147	-0.253	-0.211	-0.619	-0.819	-0.594	-0.677	-0.444		0.282	0.371	0.263	0.305	-0.108	-0.312	-0.083	-0.168	0.069
0:04:00	0.117	0.078	0.276	0.157	-0.463	-0.416	-0.609	-0.496	-0.170		0.639	0.599	0.800	0.679	0.050	0.098	-0.098	0.016	0.348
0:05:00	-0.560	-0.619	-0.526	-0.568	0.087	0.081	-0.009	0.053	-0.258	20	-0.049	-0.108	-0.014	-0.057	0.608	0.602	0.511	0.574	0.258
0:06:00	0.149	0.112	0.326	0.196	6.169	5.772	5.862	5.934	3.065		0.671	0.634	0.851	0.719	6.783	6.380	6.472	6.545	3.632
0:07:00	3.219	3.184	2.996	3.133	9.616	9.340	9.163	9.373	6.253		3.788	3.753	3.562	3.701	10.283	10.003	9.823	10.036	6.869
0:08:00	5.895	5.798	5.618	5.770	10.960	10.800	10.610	10.790	8.280		6.505	6.407	6.224	6.379	11.648	11.485	11.292	11.475	8.927
0:09:00	16.670	16.660	16.570	16.633	7.188	7.186	6.913	7.096	11.865		17.445	17.435	17.344	17.408	7.818	7.816	7.539	7.724	12.566
0:10:00	14.580	14.390	14.330	14.433	10.670	10.610	10.130	10.470	12.452	20	15.323	15.130	15.069	15.174	11.353	11.292	10.805	11.150	13.162
0:11:00	16.510	16.420	16.410	16.447	14.320	14.020	14.090	14.143	15.295		17.283	17.191	17.181	17.218	15.059	14.755	14.826	14.880	16.049
0:12:00	17.760	17.430	17.260	17.483	11.410	11.000	11.120	11.177	14.330		18.552	18.217	18.044	18.271	12.105	11.688	11.810	11.868	15.069
0:13:00	11.270	10.960	10.710	17.483	13.160	13.130	12.910	13.067	15.275		11.962	11.648	11.394	11.668	13.881	13.851	13.628	13.787	12.727
0:14:00	17.680	17.580	17.430	10.980	10.950	10.420	10.210	10.527	10.753		18.471	18.369	18.217	18.352	11.638	11.099	10.886	11.208	14.780
0:15:00	13.010	13.100	13.000	13.037	10.150	9.897	9.784	9.944	11.490	20	13.729	13.820	13.719	13.756	10.825	10.568	10.454	10.616	12.186
0:16:00	14.750	14.710	14.520	14.660	7.606	7.509	7.679	7.598	11.129		15.496	15.455	15.262	15.404	8.242	8.144	8.316	8.234	11.819
0:17:00	11.800	11.510	11.470	11.593	11.230	10.990	11.140	11.120	11.357		12.501	12.206	12.165	12.291	11.922	11.678	11.830	11.810	12.050
0:18:00	13.370	13.090	13.030	13.163	10.620	10.670	10.600	10.630	11.897		14.095	13.810	13.749	13.885	11.302	11.353	11.282	11.313	12.599
0:19:00	9.339	9.194	9.160	9.231	10.140	10.130	9.977	10.082	9.657		10.002	9.855	9.820	9.892	10.815	10.805	10.650	10.757	10.324
0:20:00	9.895	9.744	9.849	9.829	7.637	7.536	7.535	7.569	8.699	20	10.566	10.413	10.520	10.500	8.274	8.171	8.170	8.205	9.352
0:21:00	9.162	8.991	9.066	9.073	8.210	8.140	8.149	8.166	8.620		9.822	9.649	9.725	9.732	8.856	8.785	8.794	8.811	9.272
0:22:00	9.832	9.791	9.873	9.832	8.903	8.920	8.772	8.865	9.349		10.502	10.461	10.544	10.502	9.559	9.576	9.426	9.521	10.012
0:23:00	6.937	6.892	6.837	6.889	6.837	7.438	7.290	7.188	7.039		7.563	7.517	7.462	7.514	7.462	8.072	7.922	7.818	7.666
0:24:00	8.510	8.437	8.466	8.471	2.431	2.286	2.304	2.340	5.406		9.160	9.086	9.116	9.121	2.988	2.841	2.859	2.896	6.008
0:25:00	6.997	6.921	6.859	6.926	7.972	8.021	7.984	7.992	7.459	20	7.624	7.547	7.484	7.552	8.614	8.664	8.626	8.635	8.093
0:26:00	7.951	7.836	7.662	7.816	6.380	6.251	6.263	6.298	7.057		8.593	8.476	8.299	8.456	6.998	6.867	6.879	6.914	7.685
0:27:00	6.568	6.505	6.572	6.548	3.973	3.973	3.910	3.952	5.250		7.188	7.125	7.193	7.169	4.554	4.554	4.490	4.532	5.850
0:28:00	8.690	8.672	8.489	8.617	6.653	6.604	6.431	6.563	7.590		9.343	9.325	9.139	9.269	7.275	7.225	7.049	7.183	8.226
0:29:00	7.705	7.647	7.650	7.667	5.764	5.798	5.765	5.776	6.722		8.343	8.284	8.287	8.305	6.372	6.407	6.373	6.384	7.344



0:30:00	6.605	6.508	6.425	6.513	5.731	5.656	5.583	5.657	6.085	20	7.226	7.128	7.043	7.132	6.339	6.263	6.188	6.263	6.698
0:32:00	6.501	6.550	6.404	6.485	6.001	5.941	5.996	5.979	6.232		7.120	7.170	7.022	7.104	6.613	6.552	6.608	6.591	6.848
0:34:00	6.074	6.078	6.051	6.068	6.051	6.860	6.868	6.593	6.330		6.687	6.691	6.664	6.681	6.664	7.485	7.493	7.214	6.947
0:36:00	5.759	5.885	5.892	5.845	5.312	5.543	5.526	5.460	5.653		6.367	6.495	6.502	6.455	5.913	6.148	6.131	6.064	6.259
0:38:00	5.734	5.647	5.747	5.709	4.761	4.813	4.879	4.818	5.264		6.342	6.253	6.355	6.317	5.354	5.407	5.474	5.411	5.864
0:40:00	5.942	5.905	5.972	5.940	5.453	5.374	5.336	5.388	5.664	20	6.553	6.515	6.583	6.551	6.056	5.976	5.938	5.990	6.270
0:42:00	5.640	5.710	5.589	5.646	5.861	5.984	5.727	5.857	5.752		6.246	6.317	6.195	6.253	6.471	6.596	6.335	6.467	6.360
0:44:00	6.002	5.976	5.937	5.972	4.609	4.547	4.638	4.598	5.285		6.614	6.587	6.548	6.583	5.200	5.137	5.229	5.188	5.886
0:46:00	5.929	6.093	5.835	5.952	5.976	5.999	5.885	5.953	5.953		6.540	6.706	6.444	6.563	6.587	6.611	6.495	6.564	6.564
0:48:00	6.086	6.093	6.104	6.094	5.048	5.097	5.039	5.061	5.578		6.699	6.706	6.717	6.708	5.645	5.695	5.636	5.659	6.183
0:50:00	5.989	5.846	5.881	5.905	4.271	4.257	4.410	4.313	5.109	20	6.601	6.455	6.491	6.516	4.856	4.842	4.997	4.899	5.707
0:52:00	5.342	5.347	5.424	5.371	5.465	5.431	5.343	5.413	5.392		5.944	5.949	6.027	5.973	6.069	6.034	5.945	6.016	5.994
0:54:00	4.654	4.725	4.659	4.679	4.272	4.163	4.123	4.186	4.433		5.245	5.317	5.250	5.271	4.857	4.747	4.706	4.770	5.020
0:56:00	4.287	4.165	4.245	4.232	4.277	4.289	4.139	4.235	4.234		4.873	4.749	4.830	4.817	4.862	4.875	4.722	4.820	4.818
0:58:00	5.656	5.754	5.619	5.676	3.523	3.640	3.353	3.505	4.591		6.263	6.362	6.225	6.283	4.097	4.216	3.924	4.079	5.181
1:00:00	4.662	4.577	4.618	4.619	4.134	4.208	4.133	4.158	4.389	20	5.253	5.167	5.209	5.210	4.717	4.792	4.716	4.742	4.976
1:05:00	3.318	3.191	3.246	3.252	2.914	2.887	2.926	2.909	3.080		3.889	3.760	3.816	3.821	3.479	3.451	3.491	3.474	3.647
1:10:00	1.812	1.912	1.897	1.874	2.201	2.090	2.031	2.107	1.991		2.360	2.461	2.446	2.422	2.755	2.642	2.582	2.660	2.541
1:15:00	1.663	1.764	1.744	1.724	1.978	2.061	1.932	1.990	1.857		2.208	2.311	2.291	2.270	2.528	2.613	2.482	2.541	2.405
1:20:00	0.915	0.915	1.080	0.970	0.744	0.748	0.814	0.769	0.869		1.449	1.449	1.617	1.505	1.275	1.279	1.346	1.300	1.403
1:25:00	1.025	1.136	0.982	1.048	0.735	0.641	0.602	0.659	0.854		1.561	1.673	1.517	1.584	1.266	1.171	1.131	1.189	1.387
1:30:00	1.864	2.067	1.907	1.946	0.945	0.789	1.091	0.942	1.444	21	2.413	2.619	2.456	2.496	1.479	1.321	1.628	1.476	1.986
1:35:00	1.584	1.730	1.713	1.676	1.034	1.078	1.041	1.051	1.363		2.128	2.276	2.259	2.221	1.570	1.614	1.577	1.587	1.904
1:40:00	1.963	1.955	1.970	1.963	1.103	1.169	1.047	1.106	1.535		2.513	2.505	2.520	2.513	1.640	1.707	1.583	1.643	2.078
1:45:00	1.798	1.833	1.761	1.797	2.018	1.849	1.960	1.942	1.870		2.346	2.381	2.308	2.345	2.569	2.397	2.510	2.492	2.418
1:50:00	1.045	1.020	0.974	1.013	1.248	1.201	1.284	1.244	1.129		1.581	1.556	1.509	1.548	1.787	1.739	1.824	1.783	1.666
1:55:00	1.347	1.466	1.248	1.354	1.642	1.765	1.690	1.699	1.526		1.888	2.008	1.787	1.894	2.187	2.312	2.236	2.245	2.070
2:00:00	0.944	0.840	0.917	0.900	0.959	0.890	0.935	0.928	0.914	21	1.478	1.373	1.451	1.434	1.494	1.424	1.469	1.462	1.448
2:10:00	1.486	1.535	1.496	1.506	0.546	0.551	0.481	0.526	1.016		2.029	2.078	2.039	2.049	1.074	1.079	1.008	1.054	1.551
2:20:00	1.372	1.524	1.259	1.385	0.648	0.600	0.611	0.620	1.002		1.913	2.067	1.798	1.926	1.178	1.129	1.140	1.149	1.538
2:30:00	0.585	0.247	0.476	0.436	1.167	1.250	1.257	1.225	0.830		1.114	0.771	1.003	0.963	1.705	1.789	1.796	1.763	1.363
2:40:00	1.346	1.338	1.339	1.341	1.086	1.112	0.998	1.065	1.203	21	1.887	1.878	1.879	1.882	1.623	1.649	1.533	1.602	1.742
2:50:00	0.619	0.656	0.682	0.652	1.142	1.050	0.974	1.055	0.854		1.148	1.186	1.212	1.182	1.679	1.586	1.509	1.591	1.387
3:00:00	0.974	0.758	0.710	0.814	0.710	0.804	0.637	0.717	0.766	21	1.509	1.290	1.241	1.346	1.241	1.336	1.167	1.248	1.297
3:20:00	0.877	0.895	0.872	0.881	0.870	1.058	0.907	0.945	0.913		1.410	1.429	1.405	1.415	1.403	1.594	1.441	1.479	1.447
3:40:00	0.967	0.908	0.914	0.930	0.558	0.508	0.647	0.571	0.750		1.502	1.442	1.448	1.464	1.087	1.036	1.177	1.100	1.282
4:00:00	0.198	0.211	0.196	0.202	0.069	0.097	0.108	0.091	0.147	21	0.721	0.734	0.719	0.725	0.590	0.618	0.630	0.613	0.669
4:20:00	0.053	0.113	0.117	0.094	-0.092	-0.085	-0.191	-0.123	-0.014		0.574	0.635	0.639	0.616	0.427	0.434	0.326	0.395	0.506
4:40:00	-0.018	-0.049	-0.034	-0.034	-0.712	-0.649	-0.767	-0.709	-0.372		0.502	0.470	0.485	0.486	-0.203	-0.139	-0.259	-0.200	0.143
5:00:00	-0.057	-0.061	-0.133	-0.084	-0.599	-0.769	-0.695	-0.688	-0.386	21	0.462	0.458	0.385	0.435	-0.088	-0.261	-0.186	-0.178	0.128

ANEXO 4

ESTRUCTURA DE INGRESO: DOS ENTRADAS ENSAYO 1

Fecha: 26-oct-17 Hora inicio: Inyección de trazador: 0.12ml de 232000 ppb 0.6 ml en cada entrada
 Hora fin: Temperatura promedio: 20.3 °C
 Caudal de calibración: 11.5 ml/s TRH: 1.6h
 Revoluciones de calibración: 11 rev

Tiempo [min]	Lectura de Fluorómetro (ppb)									TEMP (°C)	Resultado con Ecuación de Calibración (ppb)								
	A1	A2	A3	Promedio A	B1	B2	B3	Promedio B	Promedio A y B		RA1	RA2	RA3	Promedio RA	RB1	RB2	RB3	Promedio RB	Promedio RA y RB
1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.001	-0.115	-0.122	-0.045	-0.094	-0.166	-0.061	-0.147	-0.125	-0.109	20	0.403	0.396	0.474	0.425	0.351	0.458	0.371	0.393	0.409
0.001	-0.582	-0.742	-0.596	-0.640	-0.607	-0.396	-0.303	-0.435	-0.538		-0.071	-0.233	-0.085	-0.130	-0.096	0.118	0.212	0.078	-0.026
0.002	-0.064	-0.142	-0.219	-0.142	-0.914	-0.776	-0.807	-0.832	-0.487		0.455	0.376	0.298	0.376	-0.408	-0.268	-0.299	-0.325	0.026
0.003	-0.704	-0.859	-0.838	-0.800	-0.508	-0.366	-0.438	-0.437	-0.619		-0.195	-0.352	-0.331	-0.293	0.004	0.148	0.075	0.076	-0.108
0.003	-0.078	-0.003	-0.098	-0.060	-0.703	-0.739	-0.665	-0.702	-0.381	20	0.441	0.517	0.421	0.459	-0.194	-0.230	-0.155	-0.193	0.133
0.004	1.219	1.129	1.019	1.122	3.893	3.826	3.852	3.857	2.490		1.758	1.666	1.555	1.660	4.473	4.405	4.431	4.436	3.048
0.005	3.278	3.366	3.281	3.308	8.273	8.112	7.936	8.107	5.708		3.848	3.937	3.851	3.879	8.920	8.756	8.577	8.751	6.315
0.006	5.981	4.777	4.127	4.962	5.818	5.562	5.337	5.572	5.267		6.593	5.370	4.710	5.558	6.427	6.167	5.939	6.178	5.868
0.006	6.367	6.236	6.340	6.314	13.600	13.450	13.340	13.463	9.889		6.984	6.851	6.957	6.931	14.328	14.176	14.064	14.189	10.560
0.007	8.091	8.108	7.928	8.042	12.220	12.190	12.170	12.193	10.118	20	8.735	8.752	8.569	8.685	12.927	12.897	12.876	12.900	10.793
0.008	8.837	8.828	8.704	8.790	12.430	12.210	12.020	12.220	10.505		9.492	9.483	9.357	9.444	13.140	12.917	12.724	12.927	11.186
0.008	8.287	8.169	8.242	8.233	24.930	24.870	24.830	24.877	16.555		8.934	8.814	8.888	8.879	25.831	25.771	25.730	25.777	17.328
0.009	12.100	12.020	11.950	12.023	21.900	21.960	21.800	21.887	16.955		12.805	12.724	12.653	12.727	22.755	22.816	22.654	22.742	17.734
0.010	14.970	14.820	14.740	14.843	19.710	19.510	19.710	19.643	17.243		15.719	15.567	15.486	15.590	20.532	20.329	20.532	20.464	18.027
0.010	15.770	15.570	15.670	15.670	19.220	19.140	19.210	19.190	17.430	20	16.531	16.328	16.430	16.430	20.034	19.953	20.024	20.004	18.217
0.011	11.750	11.690	9.750	11.063	14.880	15.050	14.990	14.973	13.018		12.450	12.389	10.419	11.753	15.628	15.800	15.739	15.722	13.738
0.012	12.330	12.330	12.270	12.310	15.590	15.610	15.260	15.487	13.898		13.039	13.039	12.978	13.018	16.349	16.369	16.013	16.244	14.631
0.012	12.540	12.430	12.470	12.480	14.590	14.400	14.490	14.493	13.487		13.252	13.140	13.181	13.191	15.333	15.140	15.232	15.235	14.213
0.013	10.820	10.780	10.760	10.787	13.120	12.900	13.010	13.010	11.898		11.506	11.465	11.445	11.472	13.841	13.617	13.729	13.729	12.600
0.014	11.500	11.620	11.590	11.570	14.110	13.900	14.260	14.090	12.830	20	12.196	12.318	12.287	12.267	14.846	14.633	14.998	14.826	13.546
0.015	10.470	10.660	10.120	10.417	13.700	13.660	13.610	13.657	12.037		11.150	11.343	10.795	11.096	14.430	14.389	14.338	14.386	12.741
0.015	11.660	11.820	11.600	11.693	11.770	11.750	11.660	11.727	11.710		12.358	12.521	12.297	12.392	12.470	12.450	12.358	12.426	12.409
0.016	11.920	11.930	11.860	11.903	13.930	13.910	13.910	13.917	12.910		12.622	12.633	12.561	12.605	14.663	14.643	14.643	14.650	13.628
0.017	12.060	12.070	12.860	12.330	13.430	13.350	13.390	13.390	12.860		12.765	12.775	13.577	13.039	14.155	14.074	14.115	14.115	13.577
0.017	13.390	12.230	12.020	12.547	13.540	13.530	13.790	13.620	13.083	20	14.115	12.937	12.724	13.259	14.267	14.257	14.521	14.348	13.804
0.018	13.510	13.540	13.370	13.473	13.400	13.520	13.440	13.453	13.463		14.237	14.267	14.095	14.199	14.125	14.247	14.166	14.179	14.189
0.019	12.040	11.960	11.810	11.937	14.490	14.480	14.470	14.480	13.208		12.744	12.663	12.511	12.639	15.232	15.222	15.211	15.222	13.930
0.019	11.800	11.690	11.690	11.727	14.300	14.360	14.080	14.247	12.987		12.501	12.389	12.389	12.426	15.039	15.100	14.815	14.985	13.705
0.020	12.140	11.850	11.980	11.990	12.090	11.910	12.070	12.023	12.007		12.846	12.551	12.683	12.693	12.795	12.612	12.775	12.727	12.710
0.021	11.220	11.030	10.970	11.073	12.170	11.910	11.950	12.010	11.542	20	11.912	11.719	11.658	11.763	12.876	12.612	12.653	12.714	12.238
0.022	10.580	10.450	10.340	10.457	10.260	10.300	10.470	10.343	10.400		11.262	11.130	11.018	11.137	10.937	10.978	11.150	11.022	11.079
0.024	10.480	10.590	10.620	10.563	10.210	10.050	10.020	10.093	10.328		11.160	11.272	11.302	11.245	10.886	10.724	10.693	10.768	11.006



0.025	9.902	10.180	10.090	10.057	9.634	9.601	9.799	9.678	9.868		10.574	10.856	10.764	10.731	10.301	10.268	10.469	10.346	10.539
0.026	9.284	9.245	9.279	9.269	9.913	9.904	9.823	9.880	9.575		9.946	9.906	9.941	9.931	10.585	10.576	10.493	10.551	10.241
0.028	9.437	9.345	9.456	9.413	10.020	10.130	10.150	10.100	9.756	20	10.101	10.008	10.121	10.077	10.693	10.805	10.825	10.775	10.426
0.029	9.126	9.039	9.175	9.113	9.175	9.678	9.628	9.494	9.304		9.786	9.697	9.835	9.773	9.835	10.346	10.295	10.159	9.966
0.031	8.755	8.751	8.613	8.706	9.057	9.114	9.174	9.115	8.911		9.409	9.405	9.265	9.360	9.716	9.773	9.834	9.774	9.567
0.032	8.761	8.881	8.804	8.815	8.351	8.197	8.195	8.248	8.532	20	9.415	9.537	9.459	9.470	8.999	8.842	8.840	8.894	9.182
0.033	8.033	8.194	8.006	8.078	7.064	6.987	7.027	7.026	7.552		8.676	8.839	8.648	8.721	7.692	7.614	7.655	7.653	8.187
0.035	8.040	7.983	7.791	7.938	7.998	7.887	7.845	7.910	7.924		8.683	8.625	8.430	8.579	8.640	8.528	8.485	8.551	8.565
0.036	7.423	7.744	7.498	7.555	7.933	7.937	7.980	7.950	7.753		8.057	8.382	8.133	8.191	8.574	8.578	8.622	8.592	8.391
0.038	6.199	6.409	6.116	6.241	6.709	6.990	6.965	6.888	6.565		6.814	7.027	6.730	6.857	7.332	7.617	7.592	7.513	7.185
0.039	6.673	6.760	6.734	6.722	5.976	5.881	5.790	5.882	6.302		7.295	7.383	7.357	7.345	6.587	6.491	6.399	6.492	6.919
0.040	6.687	6.802	6.660	6.716	6.628	6.569	6.344	6.514	6.615		7.309	7.426	7.282	7.339	7.249	7.190	6.961	7.133	7.236
0.042	6.346	6.174	6.301	6.274	6.641	6.627	6.620	6.629	6.452	20	6.963	6.788	6.917	6.890	7.263	7.248	7.241	7.251	7.070
0.045	4.703	4.689	4.662	4.685	5.757	5.633	5.572	5.654	5.169		5.295	5.281	5.253	5.276	6.365	6.239	6.177	6.261	5.768
0.049	2.716	2.833	2.738	2.762	3.480	3.599	3.496	3.525	3.144	20	3.278	3.396	3.300	3.325	4.053	4.174	4.069	4.099	3.712
0.052	3.312	3.420	3.478	3.403	3.452	3.581	3.311	3.448	3.426		3.883	3.992	4.051	3.975	4.025	4.156	3.882	4.021	3.998
0.056	1.327	1.337	1.459	1.374	2.285	2.318	2.333	2.312	1.843		1.867	1.877	2.001	1.915	2.840	2.873	2.889	2.867	2.391
0.059	2.578	2.511	2.488	2.526	1.444	1.204	1.315	1.321	1.923	20	3.137	3.069	3.046	3.084	1.986	1.742	1.855	1.861	2.473
0.063	1.564	1.559	1.723	1.615	1.117	1.166	0.960	1.081	1.348		2.108	2.103	2.269	2.160	1.654	1.704	1.495	1.618	1.889
0.066	2.997	3.034	3.131	3.054	2.757	2.910	2.763	2.810	2.932		3.563	3.600	3.699	3.621	3.319	3.475	3.325	3.373	3.497
0.069	3.771	3.892	3.747	3.803	2.352	2.198	2.192	2.247	3.025		4.349	4.472	4.324	4.382	2.908	2.752	2.746	2.802	3.592
0.073	2.523	2.486	2.466	2.492	1.217	1.246	1.292	1.252	1.872	20	3.082	3.044	3.024	3.050	1.756	1.785	1.832	1.791	2.420
0.076	2.072	2.051	2.236	2.120	1.775	1.760	1.742	1.759	1.939		2.624	2.602	2.790	2.672	2.322	2.307	2.289	2.306	2.489
0.080	2.442	2.470	2.546	2.486	2.280	2.209	2.079	2.189	2.338		2.999	3.028	3.105	3.044	2.835	2.763	2.631	2.743	2.893
0.083	2.185	2.311	2.357	2.284	2.254	2.254	2.158	2.222	2.253		2.738	2.866	2.913	2.839	2.808	2.808	2.711	2.776	2.808
0.090	2.304	2.333	2.347	2.328	1.599	1.564	1.387	1.517	1.922	21	2.859	2.889	2.903	2.884	2.143	2.108	1.928	2.060	2.472
0.097	1.551	1.510	1.595	1.552	1.606	1.741	1.648	1.665	1.609		2.095	2.053	2.139	2.096	2.151	2.288	2.193	2.210	2.153
0.104	1.956	2.045	2.055	2.019	1.171	0.954	1.154	1.093	1.556	21	2.506	2.596	2.606	2.570	1.709	1.489	1.692	1.630	2.100
0.111	0.951	0.881	0.959	0.930	0.689	0.666	0.645	0.667	0.799		1.486	1.414	1.494	1.465	1.220	1.196	1.175	1.197	1.331
0.118	1.654	1.762	1.712	1.709	1.442	1.486	1.562	1.497	1.603	21	2.199	2.309	2.258	2.255	1.984	2.029	2.106	2.040	2.148
0.125	2.079	2.089	1.972	2.047	0.350	0.325	0.324	0.333	1.190		2.631	2.641	2.522	2.598	0.875	0.850	0.849	0.858	1.728
0.139	0.827	0.869	0.932	0.876	1.632	1.646	1.507	1.595	1.236		1.360	1.402	1.466	1.409	2.177	2.191	2.050	2.139	1.774
0.153	1.299	1.300	1.141	1.247	0.494	0.635	0.487	0.539	0.893		1.839	1.840	1.678	1.786	1.022	1.165	1.014	1.067	1.426
0.167	0.484	0.413	0.409	0.435	0.807	0.806	0.824	0.812	0.624		1.011	0.939	0.935	0.962	1.339	1.338	1.357	1.345	1.153
0.181	0.202	0.234	0.213	0.216	0.736	0.748	0.739	0.741	0.479	21	0.725	0.758	0.736	0.740	1.267	1.279	1.270	1.272	1.006
0.194	0.347	0.340	0.352	0.346	0.542	0.564	0.517	0.541	0.444	21	0.872	0.865	0.877	0.872	1.070	1.093	1.045	1.069	0.970
0.208	0.187	0.183	1.640	0.670	0.461	0.452	0.467	0.460	0.565	21	0.710	0.706	2.185	1.200	0.988	0.979	0.994	0.987	1.094

ANEXO 5

ESTRUCTURA DE INGRESO: DOS ENTRADAS ENSAYO 2

Fecha: 26-oct-17
Hora inicio:
Hora fin:
Inyección de trazador: 0.12ml de 232000 ppb **0.6 ml en cada entrada**
Temperatura promedio: 19.1 °C
Caudal de calibración: 11.5 ml/s
Revoluciones de calibración: 12 rev
TRH: 1.6h

Tiempo [min]	Lectura de Fluorómetro (ppb)									TEMP (°C)	Resultado con Ecuación de Calibración (ppb)								
	A1	A2	A3	Promedio A	B1	B2	B3	Promedio B	Promedio A y B		RA1	RA2	RA3	Promedio RA	RB1	RB2	RB3	Promedio RB	Promedio RA y RB
0:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0:01:00	-0.697	-0.773	-0.615	-0.695	-0.075	-0.267	-0.112	-0.151	-0.423	18	-0.188	-0.265	-0.104	-0.186	0.444	0.249	0.406	0.366	0.090
0:02:00	0.325	0.298	0.273	0.299	-0.346	-0.425	-0.451	-0.407	-0.054		0.850	0.823	0.797	0.823	0.169	0.088	0.062	0.106	0.465
0:03:00	-0.523	-0.664	-0.539	-0.575	-0.332	-0.318	-0.254	-0.301	-0.438		-0.011	-0.154	-0.027	-0.064	0.183	0.197	0.262	0.214	0.075
0:04:00	1.515	1.151	1.078	1.248	-0.233	-0.098	-0.075	-0.135	0.556		2.058	1.689	1.614	1.787	0.283	0.421	0.444	0.383	1.085
0:05:00	0.816	0.639	0.706	0.720	-0.029	-0.003	-0.146	-0.059	0.331	18	1.348	1.169	1.237	1.251	0.491	0.517	0.372	0.460	0.856
0:06:00	0.072	0.166	0.103	0.114	0.194	0.010	0.094	0.099	0.107		0.593	0.689	0.625	0.635	0.717	0.530	0.615	0.621	0.628
0:07:00	-0.391	-0.393	-0.378	-0.387	0.151	0.004	0.092	0.082	-0.153		0.123	0.121	0.136	0.127	0.673	0.524	0.613	0.604	0.365
0:08:00	0.456	0.547	0.451	0.485	-0.074	-0.269	-0.193	-0.179	0.153		0.983	1.075	0.978	1.012	0.445	0.247	0.324	0.339	0.675
0:09:00	-0.023	-0.041	-0.014	-0.026	0.992	0.993	0.998	0.994	0.484		0.497	0.478	0.506	0.494	1.527	1.528	1.533	1.530	1.012
0:10:00	0.787	0.737	0.809	0.778	0.231	0.240	0.264	0.245	0.511	18	1.319	1.268	1.341	1.310	0.755	0.764	0.788	0.769	1.039
0:11:00	0.130	0.082	0.122	0.111	0.782	0.979	0.827	0.863	0.487		0.652	0.603	0.644	0.633	1.314	1.514	1.360	1.396	1.014
0:12:00	1.103	0.888	1.086	1.026	1.191	1.083	1.274	1.183	1.104		1.640	1.422	1.623	1.561	1.729	1.620	1.813	1.721	1.641
0:13:00	0.842	0.809	0.952	0.868	0.587	0.434	0.438	0.486	0.677		1.375	1.341	1.487	1.401	1.116	0.961	0.965	1.014	1.207
0:14:00	0.455	0.583	0.466	0.501	1.087	1.102	1.107	1.099	0.800		0.982	1.112	0.993	1.029	1.624	1.639	1.644	1.635	1.332
0:15:00	2.298	2.398	2.322	2.339	1.787	1.763	1.659	1.736	2.038	18	2.853	2.955	2.878	2.895	2.334	2.310	2.204	2.283	2.589
0:16:00	2.117	2.227	2.165	2.170	3.567	3.314	3.156	3.346	2.758		2.669	2.781	2.718	2.723	4.142	3.885	3.724	3.917	3.320
0:17:00	1.373	1.517	1.438	1.443	1.864	1.588	1.340	1.597	1.520		1.914	2.060	1.980	1.985	2.413	2.132	1.881	2.142	2.063
0:18:00	2.208	2.296	2.045	2.183	2.534	3.476	3.474	3.161	2.672		2.762	2.851	2.596	2.736	3.093	4.049	4.047	3.730	3.233
0:19:00	2.996	3.034	2.969	3.000	3.084	2.930	2.760	2.925	2.962		3.562	3.600	3.534	3.566	3.651	3.495	3.322	3.489	3.527
0:20:00	2.388	2.476	2.445	2.436	3.372	3.384	3.293	3.350	2.893	18	2.945	3.034	3.002	2.994	3.944	3.956	3.863	3.921	3.457
0:21:00	3.365	2.994	3.345	3.235	4.536	4.506	4.334	4.459	3.847		3.936	3.560	3.916	3.804	5.125	5.095	4.920	5.047	4.426
0:22:00	5.166	5.232	5.291	5.230	5.173	5.016	4.664	4.951	5.090		5.765	5.832	5.892	5.830	5.772	5.613	5.255	5.547	5.688
0:23:00	5.492	5.083	5.003	5.193	5.003	4.839	4.597	4.813	5.003		6.096	5.681	5.600	5.792	5.600	5.433	5.187	5.407	5.599
0:24:00	4.812	4.550	4.472	4.611	6.061	5.992	5.976	6.010	5.311		5.406	5.140	5.060	5.202	6.674	6.604	6.587	6.622	5.912
0:25:00	5.535	5.666	5.638	5.613	5.733	5.618	5.638	5.663	5.638	19	6.140	6.273	6.244	6.219	6.341	6.224	6.244	6.270	6.244
0:26:00	5.544	5.478	5.701	5.574	4.918	4.821	5.113	4.951	5.263		6.149	6.082	6.308	6.180	5.513	5.415	5.711	5.546	5.863
0:27:00	5.942	5.584	5.495	5.674	5.857	5.727	5.721	5.768	5.721		6.553	6.189	6.099	6.280	6.467	6.335	6.329	6.377	6.329
0:28:00	5.555	5.472	5.565	5.531	5.795	6.079	5.944	5.939	5.735		6.160	6.076	6.170	6.135	6.404	6.692	6.555	6.550	6.343
0:29:00	5.692	5.837	5.923	5.817	5.116	4.983	4.852	4.984	5.401		6.299	6.446	6.534	6.426	5.714	5.579	5.446	5.580	6.003
0:30:00	5.170	5.500	5.225	5.298	6.333	6.571	6.251	6.385	5.842	19	5.769	6.104	5.825	5.899	6.950	7.192	6.867	7.003	6.451



0:32:00	5.358	5.363	5.226	5.316	4.004	3.661	3.654	3.773	4.544		5.960	5.965	5.826	5.917	4.585	4.237	4.230	4.351	5.134
0:34:00	3.654	4.939	4.959	4.517	6.632	6.345	6.387	6.455	5.486		4.230	5.535	5.555	5.106	7.253	6.962	7.005	7.073	6.090
0:36:00	4.043	4.251	4.233	4.176	3.750	3.916	3.807	3.824	4.000		4.625	4.836	4.818	4.760	4.327	4.496	4.385	4.403	4.581
0:38:00	4.752	4.814	4.811	4.792	5.237	5.218	5.222	5.226	5.009		5.345	5.408	5.405	5.386	5.837	5.818	5.822	5.826	5.606
0:40:00	4.687	4.761	4.715	4.721	5.106	4.847	5.046	5.000	4.860	19	5.279	5.354	5.307	5.313	5.704	5.441	5.643	5.596	5.455
0:42:00	5.136	5.156	4.983	5.092	4.888	5.028	5.345	5.087	5.089		5.735	5.755	5.579	5.690	5.483	5.625	5.947	5.685	5.687
0:44:00	5.111	5.204	5.208	5.174	4.935	4.890	4.799	4.875	5.025		5.709	5.804	5.808	5.774	5.531	5.485	5.392	5.469	5.621
0:46:00	3.786	3.808	3.821	3.805	4.111	4.112	4.173	4.132	3.969		4.364	4.386	4.399	4.383	4.694	4.695	4.757	4.715	4.549
0:48:00	3.051	3.049	3.250	3.117	3.772	3.921	3.974	3.889	3.503		3.618	3.616	3.820	3.684	4.350	4.501	4.555	4.469	4.076
0:50:00	4.706	4.558	4.562	4.609	3.598	3.439	3.698	3.578	4.094	19	5.298	5.148	5.152	5.199	4.173	4.012	4.275	4.153	4.676
0:52:00	4.069	4.070	4.081	4.073	2.873	2.870	2.710	2.818	3.446		4.651	4.652	4.663	4.656	3.437	3.434	3.271	3.381	4.018
0:54:00	3.103	2.996	3.281	3.127	4.068	3.992	3.895	3.985	3.556		3.670	3.562	3.851	3.695	4.650	4.573	4.475	4.566	4.130
0:56:00	3.033	3.096	3.174	3.101	2.914	2.941	2.782	2.879	2.990		3.599	3.663	3.743	3.668	3.479	3.506	3.345	3.443	3.556
0:58:00	2.652	2.382	2.472	2.502	2.930	2.908	2.958	2.932	2.717		3.213	2.938	3.030	3.060	3.495	3.472	3.523	3.497	3.279
1:00:00	3.923	3.799	3.901	3.874	2.668	2.858	2.802	2.776	3.325	20	4.503	4.377	4.481	4.454	3.229	3.422	3.365	3.338	3.896
1:05:00	3.118	2.939	3.088	3.048	2.330	2.041	2.144	2.172	2.610		3.686	3.504	3.655	3.615	2.886	2.592	2.697	2.725	3.170
1:10:00	4.375	4.349	4.154	4.293	3.084	3.243	3.119	3.149	3.721		4.962	4.936	4.738	4.878	3.651	3.813	3.687	3.717	4.298
1:15:00	4.145	4.193	4.048	4.129	2.976	3.200	3.081	3.086	3.607		4.728	4.777	4.630	4.712	3.542	3.769	3.648	3.653	4.182
1:20:00	3.081	3.216	3.270	3.189	3.805	3.818	3.876	3.833	3.511	20	3.648	3.785	3.840	3.758	4.383	4.396	4.455	4.412	4.085
1:25:00	3.660	3.390	3.506	3.519	3.090	3.112	3.109	3.104	3.311		4.236	3.962	4.080	4.093	3.657	3.680	3.677	3.671	3.882
1:30:00	3.283	3.355	3.358	3.332	4.143	3.984	4.022	4.050	3.691		3.853	3.926	3.929	3.903	4.726	4.565	4.604	4.632	4.267
1:35:00	3.078	2.969	2.878	2.975	2.811	3.167	3.103	3.027	3.001		3.645	3.534	3.442	3.541	3.374	3.735	3.670	3.593	3.567
1:40:00	3.117	3.146	3.314	3.192	3.172	3.223	3.166	3.187	3.190	20	3.685	3.714	3.885	3.761	3.741	3.792	3.734	3.756	3.758
1:45:00	3.237	3.084	3.149	3.157	3.270	3.347	3.503	3.373	3.265		3.807	3.651	3.717	3.725	3.840	3.918	4.077	3.945	3.835
1:50:00	2.911	2.984	2.886	2.927	2.435	2.772	2.621	2.609	2.768		3.476	3.550	3.450	3.492	2.992	3.334	3.181	3.169	3.331
1:55:00	3.251	3.278	3.287	3.272	2.473	2.610	2.584	2.556	2.914		3.821	3.848	3.857	3.842	3.031	3.170	3.144	3.115	3.478
2:00:00	3.568	3.676	3.560	3.601	1.943	2.240	2.245	2.143	2.872	20	4.143	4.252	4.134	4.176	2.493	2.794	2.799	2.695	3.436
2:10:00	3.534	3.783	3.564	3.627	3.099	3.288	3.478	3.288	3.458		4.108	4.361	4.139	4.202	3.666	3.858	4.051	3.859	4.031
2:20:00	3.137	2.925	2.932	2.998	3.201	3.031	3.034	3.089	3.043		3.705	3.490	3.497	3.564	3.770	3.597	3.600	3.656	3.610
2:30:00	3.240	3.166	3.224	3.210	1.797	1.801	2.034	1.877	2.544		3.810	3.734	3.793	3.779	2.344	2.349	2.585	2.426	3.103
2:40:00	2.970	2.978	3.157	3.035	2.732	2.621	2.572	2.642	2.838	20	3.535	3.544	3.725	3.601	3.294	3.181	3.131	3.202	3.402
2:50:00	2.596	2.554	2.624	2.591	2.326	2.280	2.322	2.309	2.450		3.156	3.113	3.184	3.151	2.882	2.835	2.878	2.865	3.008
3:00:00	2.201	2.243	2.231	2.225	2.247	2.304	2.205	2.252	2.239		2.755	2.797	2.785	2.779	2.801	2.859	2.759	2.806	2.793
3:20:00	1.956	2.224	2.073	2.084	1.923	1.844	1.790	1.852	1.968	20	2.506	2.778	2.625	2.636	2.472	2.392	2.337	2.401	2.518
3:40:00	1.500	1.235	1.525	1.420	1.157	1.165	1.134	1.152	1.286		2.043	1.774	2.068	1.962	1.695	1.703	1.671	1.690	1.826
4:00:00	1.395	1.390	1.328	1.371	1.286	1.274	1.291	1.284	1.327		1.936	1.931	1.868	1.912	1.826	1.813	1.831	1.823	1.868
4:20:00	1.205	1.237	1.231	1.224	1.335	1.403	1.390	1.376	1.300	20	1.743	1.776	1.770	1.763	1.875	1.944	1.931	1.917	1.840
4:40:00	1.004	0.989	0.997	0.997	1.246	1.257	1.232	1.245	1.121		1.539	1.524	1.532	1.532	1.785	1.796	1.771	1.784	1.658
5:00:00	1.114	1.105	1.121	1.113	1.149	1.174	1.164	1.162	1.138	20	1.651	1.642	1.658	1.650	1.687	1.712	1.702	1.700	1.675

ANEXO 6

ESTRUCTURA DE INGRESO: DOS ENTRADAS ENSAYO 3

Fecha: 27-oct-17 Hora inicio: Inyección de trazador: 0.12ml de 232000 ppb 0.6 ml en cada entrada
 Hora fin: Temperatura promedio: 21.4 °C
 Caudal de calibración: 11.5 ml/s TRH: 1.6h
 Revoluciones de calibración: 11 rev

Tiempo [min]	Lectura de Fluorómetro (ppb)									TEMP (°C)	Resultado con Ecuación de Calibración (ppb)								
	A1	A2	A3	Promedio A	B1	B2	B3	Promedio B	Promedio A y B	T	RA1	RA2	RA3	Promedio RA	RB1	RB2	RB3	Promedio RB	Promedio RA y RB
0:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0:01:00	-0.598	-0.649	-0.554	-0.600	-1.159	-0.947	-0.893	-1.000	-0.800	21	-0.087	-0.139	-0.042	-0.090	-0.657	-0.441	-0.387	-0.495	-0.292
0:02:00	-0.381	-0.476	-0.448	-0.435	-0.691	-0.696	-0.528	-0.638	-0.537		0.133	0.037	0.065	0.078	-0.182	-0.187	-0.016	-0.128	-0.025
0:03:00	-0.793	-0.701	-0.719	-0.738	-0.799	-0.580	-0.677	-0.685	-0.712		-0.285	-0.192	-0.210	-0.229	-0.291	-0.069	-0.167	-0.176	-0.202
0:04:00	-0.438	-0.510	-0.577	-0.508	-0.264	-0.338	-0.263	-0.288	-0.398		0.075	0.002	-0.066	0.004	0.252	0.177	0.253	0.227	0.116
0:05:00	-0.629	-0.506	-0.720	-0.618	0.263	0.264	0.390	0.306	-0.156	21	-0.119	0.006	-0.211	-0.108	0.787	0.788	0.916	0.830	0.361
0:06:00	0.539	0.335	0.217	0.364	0.493	0.542	0.601	0.545	0.455		1.067	0.860	0.740	0.889	1.021	1.070	1.130	1.074	0.981
0:07:00	2.053	1.961	1.909	1.974	0.553	0.622	0.651	0.609	1.292		2.604	2.511	2.458	2.525	1.081	1.152	1.181	1.138	1.831
0:08:00	0.578	0.374	0.329	0.427	0.561	0.552	5.710	2.274	1.351		1.107	0.900	0.854	0.954	1.090	1.080	6.317	2.829	1.891
0:09:00	2.486	2.357	2.370	2.404	0.940	0.703	0.632	0.758	1.581		3.044	2.913	2.926	2.961	1.474	1.234	1.162	1.290	2.126
0:10:00	0.135	0.038	0.176	0.116	0.521	0.745	0.573	0.613	0.365	21	0.657	0.559	0.699	0.638	1.049	1.276	1.102	1.142	0.890
0:11:00	2.265	2.051	2.329	2.215	2.329	2.107	1.944	2.127	2.171		2.820	2.602	2.885	2.769	2.885	2.659	2.494	2.679	2.724
0:12:00	2.146	2.315	2.267	2.243	1.663	1.786	1.527	1.659	1.951		2.699	2.870	2.822	2.797	2.208	2.333	2.070	2.204	2.501
0:13:00	1.397	1.382	1.465	1.415	2.010	2.167	1.237	1.805	1.610		1.938	1.923	2.007	1.956	2.561	2.720	1.776	2.352	2.154
0:14:00	2.212	2.138	2.001	2.117	2.682	2.499	2.510	2.564	2.340		2.766	2.691	2.552	2.669	3.243	3.057	3.068	3.123	2.896
0:15:00	2.850	2.918	2.941	2.903	2.936	3.019	2.887	2.947	2.925	21	3.414	3.483	3.506	3.467	3.501	3.585	3.451	3.512	3.490
0:16:00	4.141	4.004	3.793	3.979	3.744	3.501	3.245	3.497	3.738		4.724	4.585	4.371	4.560	4.321	4.075	3.815	4.070	4.315
0:17:00	3.415	3.409	3.355	3.393	5.258	4.913	4.617	4.929	4.161		3.987	3.981	3.926	3.965	5.858	5.508	5.208	5.525	4.745
0:18:00	5.050	4.933	4.959	4.981	3.704	3.933	4.078	3.905	4.443		5.647	5.528	5.555	5.577	4.281	4.513	4.660	4.485	5.031
0:19:00	2.335	2.335	2.552	2.407	4.554	4.543	4.279	4.459	3.433		2.891	2.891	3.111	2.964	5.144	5.133	4.864	5.047	4.006
0:20:00	4.351	4.246	4.121	4.239	6.157	6.173	6.340	6.223	5.231	21	4.938	4.831	4.704	4.824	6.771	6.787	6.957	6.839	5.831
0:21:00	2.936	2.951	2.932	2.940	5.678	5.561	5.818	5.686	4.313		3.501	3.516	3.497	3.505	6.285	6.166	6.427	6.293	4.899
0:22:00	3.841	3.924	3.843	3.869	5.749	5.482	5.566	5.599	4.734		4.420	4.504	4.422	4.449	6.357	6.086	6.171	6.205	5.327
0:23:00	3.248	3.508	3.087	3.281	5.711	5.872	5.766	5.783	4.532		3.818	4.082	3.654	3.851	6.318	6.482	6.374	6.391	5.121
0:24:00	6.114	6.142	6.116	6.124	6.284	6.390	6.391	6.355	6.240		6.728	6.756	6.730	6.738	6.900	7.008	7.009	6.972	6.855
0:25:00	5.982	5.890	5.996	5.956	5.914	5.897	5.557	5.789	5.873	21	6.594	6.500	6.608	6.567	6.524	6.507	6.162	6.398	6.483
0:26:00	5.293	5.435	5.498	5.409	5.345	5.560	5.397	5.434	5.421		5.894	6.038	6.102	6.011	5.947	6.165	6.000	6.037	6.024
0:27:00	4.753	4.751	4.835	4.780	4.766	4.740	4.822	4.776	4.778		5.346	5.344	5.429	5.373	5.359	5.333	5.416	5.369	5.371
0:28:00	4.620	4.533	4.700	4.618	5.446	5.783	5.816	5.682	5.150		5.211	5.122	5.292	5.208	6.049	6.391	6.425	6.289	5.748
0:29:00	2.373	2.267	2.560	2.400	6.130	6.167	6.225	6.174	4.287		2.929	2.822	3.119	2.957	6.744	6.781	6.840	6.788	4.873
0:30:00	5.300	5.381	5.503	5.395	4.874	4.898	5.053	4.942	5.168	21	5.901	5.983	6.107	5.997	5.469	5.493	5.650	5.537	5.767
0:32:00	4.624	4.796	5.571	4.997	5.626	5.691	5.588	5.635	5.316		5.215	5.389	6.176	5.593	6.232	6.298	6.193	6.241	5.917
0:34:00	5.474	5.253	5.317	5.348	6.274	6.430	6.430	6.378	5.863		6.078	5.853	5.918	5.950	6.890	7.048	7.048	6.996	6.473



0:36:00	5.665	5.708	5.434	5.602	6.105	6.291	6.010	6.135	5.869		6.272	6.315	6.037	6.208	6.718	6.907	6.622	6.749	6.479
0:38:00	5.866	5.768	5.751	5.795	5.113	5.255	5.100	5.156	5.476		6.476	6.376	6.359	6.404	5.711	5.855	5.698	5.755	6.079
0:40:00	5.970	5.932	6.191	6.031	6.250	6.324	6.374	6.316	6.174	21	6.581	6.543	6.806	6.643	6.866	6.941	6.992	6.933	6.788
0:42:00	5.672	5.650	5.640	5.654	4.786	4.578	4.781	4.715	5.185		6.279	6.256	6.246	6.261	5.379	5.168	5.374	5.307	5.784
0:44:00	5.850	5.739	5.878	5.822	5.875	5.961	5.886	5.907	5.865		6.460	6.347	6.488	6.431	6.485	6.572	6.496	6.518	6.475
0:46:00	5.315	5.238	5.440	5.331	5.938	6.029	6.167	6.045	5.688		5.916	5.838	6.043	5.933	6.549	6.641	6.781	6.657	6.295
0:48:00	5.162	5.240	5.291	5.231	5.288	5.351	5.195	5.278	5.255		5.761	5.840	5.892	5.831	5.889	5.953	5.794	5.879	5.855
0:50:00	4.804	4.557	4.901	4.754	5.699	5.871	5.876	5.815	5.285	21	5.398	5.147	5.496	5.347	6.306	6.481	6.486	6.424	5.886
0:52:00	5.637	5.685	5.728	5.683	5.558	5.514	5.401	5.491	5.587		6.243	6.292	6.336	6.290	6.163	6.118	6.004	6.095	6.193
0:54:00	6.186	6.276	6.191	6.218	5.890	5.835	5.868	5.864	6.041		6.801	6.892	6.806	6.833	6.500	6.444	6.478	6.474	6.653
0:56:00	6.461	6.552	6.564	6.526	6.545	6.464	6.278	6.429	6.477		7.080	7.172	7.184	7.146	7.165	7.083	6.894	7.047	7.096
0:58:00	5.417	5.491	5.449	5.452	6.026	6.053	5.923	6.001	5.727		6.020	6.095	6.052	6.056	6.638	6.666	6.534	6.612	6.334
1:00:00	6.500	6.432	6.339	6.424	4.963	5.019	5.276	5.086	5.755	21	7.119	7.050	6.956	7.042	5.559	5.616	5.877	5.684	6.363
1:05:00	4.908	4.912	4.974	4.931	4.752	4.583	4.666	4.667	4.799		5.503	5.507	5.570	5.527	5.345	5.173	5.257	5.258	5.393
1:10:00	6.482	6.354	6.434	6.423	6.009	5.930	5.865	5.935	6.179		7.101	6.971	7.052	7.042	6.621	6.541	6.475	6.545	6.794
1:15:00	6.136	6.014	5.920	6.023	4.968	4.948	5.060	4.992	5.508		6.750	6.626	6.531	6.635	5.564	5.544	5.657	5.588	6.112
1:20:00	4.932	5.003	5.078	5.004	4.507	4.313	4.365	4.395	4.700	21.5	5.527	5.600	5.676	5.601	5.096	4.899	4.952	4.982	5.292
1:25:00	5.260	5.250	5.173	5.228	4.141	4.089	4.279	4.170	4.699		5.860	5.850	5.772	5.828	4.724	4.672	4.864	4.753	5.291
1:30:00	5.445	5.476	5.424	5.448	4.971	5.078	5.130	5.060	5.254		6.048	6.080	6.027	6.052	5.567	5.676	5.728	5.657	5.854
1:35:00	4.296	4.328	4.317	4.314	2.339	2.633	2.541	2.504	3.409		4.882	4.914	4.903	4.900	2.895	3.193	3.100	3.063	3.981
1:40:00	3.500	3.460	3.826	3.595	2.327	2.319	2.394	2.347	2.971	21.5	4.074	4.033	4.405	4.170	2.883	2.874	2.951	2.903	3.536
1:45:00	2.924	2.937	2.937	2.933	3.000	2.961	3.204	3.055	2.994		3.489	3.502	3.502	3.498	3.566	3.526	3.773	3.622	3.560
1:50:00	4.297	4.407	4.165	4.290	2.373	2.265	2.382	2.340	3.315		4.883	4.994	4.749	4.875	2.929	2.820	2.938	2.896	3.886
1:55:00	3.019	3.011	2.946	2.992	3.618	3.724	3.791	3.711	3.352		3.585	3.577	3.511	3.558	4.193	4.301	4.369	4.288	3.923
2:00:00	2.727	2.550	2.814	2.697	2.601	2.371	2.617	2.530	2.613	22	3.289	3.109	3.377	3.258	3.161	2.927	3.177	3.088	3.173
2:10:00	2.258	2.582	2.467	2.436	2.506	2.523	2.521	2.517	2.476		2.813	3.142	3.025	2.993	3.064	3.082	3.080	3.075	3.034
2:20:00	1.926	1.847	1.997	1.923	2.444	2.416	2.415	2.425	2.174		2.475	2.395	2.548	2.473	3.001	2.973	2.972	2.982	2.727
2:30:00	3.103	2.819	2.725	2.882	3.377	3.476	3.623	3.492	3.187	22	3.670	3.382	3.287	3.446	3.949	4.049	4.198	4.065	3.756
2:40:00	4.842	4.818	4.689	4.783	1.899	2.405	2.024	2.109	3.446		5.436	5.412	5.281	5.376	2.448	2.962	2.575	2.662	4.019
2:50:00	2.855	2.689	3.030	2.858	2.436	2.400	2.416	2.417	2.638		3.419	3.250	3.596	3.422	2.993	2.957	2.973	2.974	3.198
3:00:00	3.386	3.240	3.195	3.274	2.979	3.211	3.369	3.186	3.230	22	3.958	3.810	3.764	3.844	3.545	3.780	3.941	3.755	3.799
3:20:00	2.940	3.135	3.242	3.106	2.691	2.764	2.741	2.732	2.919		3.505	3.703	3.812	3.673	3.252	3.326	3.303	3.294	3.483
3:40:00	3.601	3.658	3.459	3.573	2.563	2.684	2.746	2.664	3.119	22	4.176	4.234	4.032	4.147	3.122	3.245	3.308	3.225	3.686
4:00:00	3.181	3.444	3.241	3.289	2.807	3.050	2.994	2.950	3.120		3.750	4.017	3.811	3.859	3.370	3.617	3.560	3.515	3.687
4:20:00	2.798	2.876	2.932	2.869	2.445	2.630	2.819	2.631	2.750	22	3.361	3.440	3.497	3.433	3.002	3.190	3.382	3.192	3.312
4:40:00	2.118	1.944	1.865	1.976	1.573	1.769	1.685	1.676	1.826		2.670	2.494	2.414	2.526	2.117	2.316	2.231	2.221	2.374
5:00:00	1.957	2.287	2.082	2.109	1.609	1.814	1.774	1.732	1.921	22	2.507	2.842	2.634	2.661	2.154	2.362	2.321	2.279	2.470
5:20:00	1.304	1.321	1.300	1.308	1.514	1.330	1.346	1.397	1.353		1.844	1.861	1.840	1.848	2.057	1.870	1.887	1.938	1.893
5:40:00	0.088	0.260	0.220	0.189	0.270	0.341	0.294	0.302	0.246		0.609	0.784	0.743	0.712	0.794	0.866	0.818	0.826	0.769



ANEXO 7

ESTRUCTURA DE INGRESO: CODO A 90° ENSAYO 1

Fecha: 27-oct-17 Hora inicio: Inyección de trazador: 0.1ml de 232000 ppb
Hora fin: Temperatura promedio: 19.4 °C
Caudal de calibración: 11.5 ml/s TRH: 1.6h
Revoluciones de calibración: 25 rev

Tiempo [min]	Lectura de Fluorómetro (ppb)									TEMP (°C)	Resultado con Ecuación de Calibración (ppb)								
	A1	A2	A3	Promedio A	B1	B2	B3	Promedio B	Promedio A y B	T	RA1	RA2	RA3	Promedio RA	RB1	RB2	RB3	Promedio RB	Promedio RA y RB
0:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0:01:00	-0.619	-0.643	-0.576	-0.613	-0.739	-0.736	-0.690	-0.722	-0.667	19	-0.108	-0.133	-0.065	-0.102	-0.230	-0.227	-0.181	-0.213	-0.157
0:02:00	-0.884	-0.908	-0.815	-0.869	-0.668	-0.619	-0.731	-0.673	-0.771		-0.378	-0.402	-0.307	-0.362	-0.158	-0.108	-0.222	-0.163	-0.263
0:03:00	-0.212	-0.291	-0.160	-0.221	-0.443	-0.616	-0.524	-0.528	-0.374		0.305	0.225	0.358	0.296	0.070	-0.105	-0.012	-0.016	0.140
0:04:00	-0.647	-0.549	-0.595	-0.597	0.297	0.382	0.297	0.325	-0.136		-0.137	-0.037	-0.084	-0.086	0.822	0.908	0.822	0.850	0.382
0:05:00	-0.821	-0.657	-0.541	-0.673	-0.104	-0.338	-0.205	-0.216	-0.444	19	-0.314	-0.147	-0.029	-0.163	0.414	0.177	0.312	0.301	0.069
0:06:00	-0.473	-0.457	-0.523	-0.484	-0.325	-0.389	-0.252	-0.322	-0.403		0.040	0.056	-0.011	0.028	0.190	0.125	0.264	0.193	0.111
0:07:00	6.789	6.632	6.497	6.639	-0.059	-0.058	-0.109	-0.075	3.282		7.413	7.253	7.116	7.261	0.460	0.461	0.409	0.444	3.852
0:08:00	3.319	3.223	3.005	3.182	1.693	1.493	1.739	1.642	2.412		3.890	3.792	3.571	3.751	2.239	2.036	2.286	2.187	2.969
0:09:00	6.385	6.234	6.185	6.268	1.280	1.004	1.172	1.152	3.710		7.003	6.849	6.800	6.884	1.820	1.539	1.710	1.690	4.287
0:10:00	8.382	8.247	8.155	8.261	3.162	3.217	3.045	3.141	5.701	19	9.030	8.893	8.800	8.908	3.730	3.786	3.612	3.709	6.309
0:11:00	9.679	9.552	9.648	9.626	4.678	4.596	4.415	4.563	7.095		10.347	10.218	10.316	10.294	5.270	5.186	5.003	5.153	7.723
0:12:00	7.193	7.062	7.000	7.085	4.146	4.180	4.105	4.144	5.614		7.823	7.690	7.627	7.713	4.729	4.764	4.688	4.727	6.220
0:13:00	7.403	7.343	7.276	7.341	4.519	4.464	4.511	4.498	5.919		8.036	7.975	7.907	7.973	5.108	5.052	5.100	5.087	6.530
0:14:00	7.388	7.236	7.372	7.332	5.376	5.274	5.041	5.230	6.281	19	8.021	7.867	8.005	7.964	5.978	5.875	5.638	5.830	6.897
0:15:00	8.840	8.780	8.638	8.753	4.406	4.347	4.365	4.373	6.563		9.495	9.434	9.290	9.407	4.993	4.934	4.952	4.960	7.183
0:16:00	8.345	8.313	8.312	8.323	4.620	4.524	4.407	4.517	6.420		8.993	8.960	8.959	8.971	5.211	5.113	4.994	5.106	7.038
0:17:00	7.836	7.953	7.744	7.844	6.153	6.258	6.188	6.200	7.022		8.476	8.595	8.382	8.484	6.767	6.874	6.803	6.815	7.649
0:18:00	6.454	6.451	6.282	6.396	6.177	5.989	5.885	6.017	6.206		7.073	7.070	6.898	7.014	6.792	6.601	6.495	6.629	6.821
0:19:00	6.884	6.953	6.938	6.925	5.523	5.512	5.517	5.517	6.221		7.509	7.579	7.564	7.551	6.128	6.116	6.121	6.122	6.836
0:20:00	7.120	7.025	7.031	7.059	5.710	5.648	5.622	5.660	6.359	19	7.749	7.652	7.659	7.687	6.317	6.254	6.228	6.267	6.977
0:21:00	6.652	6.597	6.680	6.643	4.772	4.851	4.733	4.785	5.714		7.274	7.218	7.302	7.265	5.365	5.445	5.325	5.379	6.322
0:22:00	6.194	6.274	6.227	6.232	5.885	5.918	5.875	5.893	6.062		6.809	6.890	6.842	6.847	6.495	6.529	6.485	6.503	6.675
0:23:00	6.331	6.271	6.332	6.311	4.983	4.838	4.972	4.931	5.621		6.948	6.887	6.949	6.928	5.579	5.432	5.568	5.526	6.227
0:24:00	6.229	6.122	6.042	6.131	5.541	5.404	5.473	5.473	5.802		6.844	6.736	6.654	6.745	6.146	6.007	6.077	6.076	6.411
0:25:00	6.087	5.926	6.031	6.015	5.684	5.537	5.672	5.631	5.823	19	6.700	6.537	6.643	6.627	6.291	6.142	6.279	6.237	6.432
0:26:00	5.872	5.982	5.876	5.910	5.161	5.021	5.010	5.064	5.487		6.482	6.594	6.486	6.520	5.760	5.618	5.607	5.661	6.091
0:27:00	5.966	5.937	5.876	5.926	4.942	5.101	5.005	5.016	5.471		6.577	6.548	6.486	6.537	5.538	5.699	5.602	5.613	6.075
0:28:00	5.369	5.393	5.352	5.371	5.048	5.020	4.960	5.009	5.190		5.971	5.996	5.954	5.974	5.645	5.617	5.556	5.606	5.790
0:29:00	5.282	5.106	5.174	5.187	5.172	4.981	4.968	5.040	5.114		5.883	5.704	5.773	5.787	5.771	5.577	5.564	5.637	5.712
0:30:00	4.639	4.767	4.611	4.672	4.962	4.922	5.062	4.982	4.827	19	5.230	5.360	5.202	5.264	5.558	5.517	5.659	5.578	5.421



0:32:00	4.598	4.500	4.466	4.521	4.587	4.535	4.603	4.575	4.548		5.188	5.089	5.054	5.111	5.177	5.124	5.193	5.165	5.138
0:34:00	3.907	4.040	4.077	4.008	4.094	4.004	4.022	4.040	4.024		4.487	4.622	4.659	4.589	4.677	4.585	4.604	4.622	4.606
0:36:00	5.647	5.875	5.709	5.744	4.244	4.299	4.346	4.296	5.020		6.253	6.485	6.316	6.352	4.829	4.885	4.932	4.882	5.617
0:38:00	4.553	4.304	4.526	4.461	4.846	4.681	4.421	4.649	4.555		5.143	4.890	5.115	5.049	5.440	5.273	5.009	5.240	5.145
0:40:00	3.541	3.605	3.495	3.547	3.722	4.043	4.012	3.926	3.736	19	4.115	4.180	4.068	4.121	4.299	4.625	4.593	4.506	4.313
0:42:00	3.491	3.344	3.860	3.565	3.962	4.000	3.984	3.982	3.774		4.064	3.915	4.439	4.140	4.543	4.581	4.565	4.563	4.351
0:44:00	4.132	4.341	4.168	4.214	3.611	3.326	3.400	3.446	3.830		4.715	4.927	4.752	4.798	4.186	3.897	3.972	4.018	4.408
0:46:00	3.717	3.503	3.575	3.598	3.351	3.372	3.110	3.278	3.438		4.294	4.077	4.150	4.173	3.922	3.944	3.678	3.848	4.011
0:48:00	3.180	3.173	3.269	3.207	3.894	3.793	3.585	3.757	3.482		3.749	3.742	3.839	3.776	4.474	4.371	4.160	4.335	4.056
0:50:00	4.059	4.259	4.519	4.279	3.234	3.437	3.335	3.335	3.807	19	4.641	4.844	5.108	4.864	3.803	4.010	3.906	3.906	4.385
0:52:00	3.252	3.284	3.254	3.263	3.330	3.420	3.360	3.370	3.317		3.822	3.854	3.824	3.833	3.901	3.992	3.931	3.942	3.887
0:54:00	3.029	2.812	3.020	2.954	2.635	2.494	2.398	2.509	2.731		3.595	3.375	3.586	3.519	3.195	3.052	2.955	3.067	3.293
0:56:00	2.314	2.179	2.303	2.265	3.000	2.978	3.169	3.049	2.657		2.869	2.732	2.858	2.820	3.566	3.544	3.737	3.616	3.218
0:58:00	2.910	3.015	2.996	2.974	3.181	3.122	3.015	3.106	3.040		3.475	3.581	3.562	3.539	3.750	3.690	3.581	3.674	3.606
1:00:00	2.225	2.245	2.109	2.193	2.926	2.984	3.023	2.978	2.585		2.779	2.799	2.661	2.747	3.491	3.550	3.589	3.543	3.145
1:05:00	1.855	1.741	1.176	1.591	2.900	3.100	2.890	2.963	2.277		2.403	2.288	1.714	2.135	3.464	3.667	3.454	3.529	2.832
1:10:00	1.596	1.825	1.647	1.689	1.783	1.823	1.842	1.816	1.753		2.140	2.373	2.192	2.235	2.330	2.371	2.390	2.364	2.299
1:15:00	1.991	1.934	1.873	1.933	2.325	2.354	2.435	2.371	2.152		2.541	2.484	2.422	2.482	2.881	2.910	2.992	2.928	2.705
1:20:00	1.932	1.597	1.886	1.805	2.329	2.271	2.414	2.338	2.072	20	2.482	2.141	2.435	2.353	2.885	2.826	2.971	2.894	2.623
1:25:00	1.539	1.698	1.758	1.665	1.966	2.065	2.105	2.045	1.855		2.083	2.244	2.305	2.210	2.516	2.617	2.657	2.597	2.404
1:30:00	1.589	1.465	1.450	1.501	1.989	2.204	1.922	2.038	1.770		2.133	2.007	1.992	2.044	2.539	2.758	2.471	2.590	2.317
1:35:00	1.803	1.745	1.926	1.825	1.449	1.282	1.513	1.415	1.620		2.351	2.292	2.475	2.373	1.991	1.822	2.056	1.956	2.164
1:40:00	1.274	1.194	1.078	1.182	1.251	1.140	1.279	1.223	1.203		1.813	1.732	1.614	1.720	1.790	1.677	1.819	1.762	1.741
1:45:00	1.363	1.374	1.297	1.345	1.460	1.689	1.861	1.670	1.507		1.904	1.915	1.837	1.885	2.002	2.235	2.409	2.216	2.050
1:50:00	1.963	1.909	1.953	1.942	1.014	1.122	1.140	1.092	1.517		2.513	2.458	2.503	2.491	1.550	1.659	1.677	1.629	2.060
1:55:00	0.745	1.094	0.826	0.888	1.508	1.546	1.533	1.529	1.209	20	1.276	1.631	1.359	1.422	2.051	2.090	2.076	2.072	1.747
2:00:00	0.679	0.698	0.911	0.763	0.840	0.985	1.121	0.982	0.872		1.209	1.229	1.445	1.294	1.373	1.520	1.658	1.517	1.406
2:10:00	1.013	1.059	1.298	1.123	1.557	1.559	1.565	1.560	1.342		1.549	1.595	1.838	1.661	2.101	2.103	2.109	2.104	1.882
2:20:00	0.478	0.531	0.583	0.531	0.912	0.820	0.882	0.871	0.701		1.005	1.059	1.112	1.059	1.446	1.353	1.415	1.405	1.232
2:30:00	0.407	0.521	0.462	0.463	1.790	2.024	1.828	1.881	1.172	20	0.933	1.049	0.989	0.990	2.337	2.575	2.376	2.429	1.710
2:40:00	1.169	0.958	1.189	1.105	0.600	0.830	0.743	0.724	0.915		1.707	1.493	1.727	1.642	1.129	1.363	1.274	1.255	1.449
2:50:00	0.647	0.672	0.830	0.716	0.540	0.623	0.727	0.630	0.673		1.177	1.202	1.363	1.247	1.068	1.153	1.258	1.160	1.203
3:00:00	0.803	0.978	0.695	0.825	0.933	0.780	0.904	0.872	0.849	20	1.335	1.513	1.226	1.358	1.467	1.312	1.438	1.406	1.382
3:20:00	0.070	0.067	0.082	0.073	0.958	0.715	0.786	0.820	0.446		0.591	0.588	0.603	0.594	1.493	1.246	1.318	1.352	0.973
3:40:00	0.397	0.339	0.217	0.318	-0.574	-0.333	-0.350	-0.419	-0.051	20	0.923	0.864	0.740	0.843	-0.063	0.182	0.165	0.095	0.469
4:00:00	-0.038	-0.085	0.018	-0.035	-0.055	-0.012	0.059	-0.003	-0.019		0.481	0.434	0.538	0.484	0.464	0.508	0.580	0.517	0.501
4:20:00	-0.516	-0.585	-0.479	-0.527	0.533	0.549	0.529	0.537	0.005	20	-0.004	-0.074	0.034	-0.015	1.061	1.077	1.057	1.065	0.525
4:40:00	0.028	-0.092	-0.083	-0.049	-0.281	-0.269	-0.445	-0.332	-0.190		0.548	0.427	0.436	0.470	0.235	0.247	0.068	0.183	0.327
5:00:00	-0.173	-0.305	-0.186	-0.221	0.037	-0.060	-0.068	-0.030	-0.126	20	0.344	0.210	0.331	0.295	0.558	0.459	0.451	0.489	0.392

ANEXO 8

ESTRUCTURA DE INGRESO: CODO A 90° ENSAYO 2

Fecha: 20-oct-17 Hora inicio: Inyección de trazador: 0.1ml de 232000 ppb
 Hora fin: Temperatura promedio: 19.1 °C
 Caudal de calibración: 11.5 ml/s TRH: 1.6h
 Revoluciones de calibración: 28 rev

Tiempo [min]	Lectura de Fluorómetro (ppb)									TEMP (°C)	Resultado con Ecuación de Calibración (ppb)								
	A1	A2	A3	Promedio A	B1	B2	B3	Promedio B	Promedio A y B	T	RA1	RA2	RA3	Promedio RA	RB1	RB2	RB3	Promedio RB	Promedio RA y RB
0:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0:01:00	-0.795	-0.743	-0.761	-0.766	-0.924	-0.935	-0.910	-0.923	-0.845	18	-0.287	-0.234	-0.253	-0.258	-0.418	-0.429	-0.404	-0.417	-0.338
0:02:00	-0.422	-0.423	-0.452	-0.432	-0.537	-0.564	-0.584	-0.562	-0.497		0.092	0.091	0.061	0.081	-0.025	-0.053	-0.073	-0.050	0.015
0:03:00	-0.743	-0.733	-0.754	-0.743	0.663	0.599	0.668	0.643	-0.050		-0.234	-0.224	-0.246	-0.235	1.193	1.128	1.198	1.173	0.469
0:04:00	0.041	0.133	0.010	0.061	1.105	1.068	1.166	1.113	0.587		0.562	0.655	0.530	0.582	1.642	1.604	1.704	1.650	1.116
0:05:00	1.923	1.913	1.994	1.943	-1.024	-0.942	-1.060	-1.009	0.467	18	2.472	2.462	2.545	2.493	-0.520	-0.436	-0.556	-0.504	0.994
0:06:00	2.888	2.931	3.086	2.968	1.475	1.435	1.537	1.482	2.225		3.452	3.496	3.653	3.534	2.018	1.977	2.081	2.025	2.779
0:07:00	4.727	4.672	4.237	4.545	1.872	2.004	2.056	1.977	3.261		5.319	5.263	4.822	5.135	2.421	2.555	2.607	2.528	3.831
0:08:00	8.098	7.957	7.832	7.962	4.606	4.618	4.628	4.617	6.290		8.742	8.599	8.472	8.604	5.196	5.209	5.219	5.208	6.906
0:09:00	7.041	7.024	6.868	6.978	6.195	6.134	6.126	6.152	6.565		7.669	7.651	7.493	7.604	6.810	6.748	6.740	6.766	7.185
0:10:00	12.290	12.280	12.000	12.190	8.604	8.529	8.558	8.564	10.377	18	12.998	12.988	12.704	12.897	9.256	9.179	9.209	9.215	11.056
0:11:00	15.460	15.570	15.610	15.547	11.180	11.120	11.060	11.120	13.333		16.217	16.328	16.369	16.305	11.871	11.810	11.749	11.810	14.057
0:12:00	14.820	14.400	14.150	14.457	10.820	10.820	10.660	10.767	12.612		15.567	15.140	14.886	15.198	11.506	11.506	11.343	11.451	13.325
0:13:00	14.730	14.890	15.100	14.907	11.270	11.200	11.280	11.250	13.078		15.475	15.638	15.851	15.655	11.962	11.891	11.973	11.942	13.798
0:14:00	13.730	13.790	13.930	13.817	11.990	11.730	11.960	11.893	12.855		14.460	14.521	14.663	14.548	12.693	12.429	12.663	12.595	13.572
0:15:00	14.480	13.530	13.380	13.797	12.640	12.570	12.600	12.603	13.200	18	15.222	14.257	14.105	14.528	13.353	13.282	13.313	13.316	13.922
0:16:00	11.380	11.550	11.230	11.387	11.890	11.700	11.880	11.823	11.605		12.074	12.247	11.922	12.081	12.592	12.399	12.582	12.524	12.303
0:17:00	12.260	12.140	12.140	12.180	11.570	11.240	11.290	11.367	11.773		12.968	12.846	12.846	12.886	12.267	11.932	11.983	12.061	12.473
0:18:00	10.160	9.922	9.930	10.004	10.450	10.460	10.380	10.430	10.217		10.835	10.594	10.602	10.677	11.130	11.140	11.059	11.110	10.893
0:19:00	10.920	10.110	10.190	10.407	10.120	9.963	9.996	10.026	10.217		11.607	10.785	10.866	11.086	10.795	10.635	10.669	10.700	10.893
0:20:00	10.140	10.020	9.909	10.023	8.301	8.230	8.187	8.239	9.131	18	10.815	10.693	10.581	10.696	8.948	8.876	8.832	8.885	9.791
0:21:00	8.795	8.670	8.722	8.729	8.332	8.178	8.085	8.198	8.464		9.450	9.323	9.375	9.383	8.979	8.823	8.729	8.844	9.113
0:22:00	10.050	9.809	9.719	9.859	9.075	8.926	9.131	9.044	9.452		10.724	10.479	10.388	10.530	9.734	9.583	9.791	9.702	10.116
0:23:00	8.953	8.680	8.460	8.698	9.434	9.217	9.062	9.238	8.968		9.610	9.333	9.109	9.351	10.098	9.878	9.721	9.899	9.625
0:24:00	7.726	7.530	7.446	7.567	7.333	7.462	7.468	7.421	7.494		8.364	8.165	8.080	8.203	7.965	8.096	8.102	8.055	8.129
0:25:00	7.049	6.871	6.874	6.931	7.365	7.253	7.067	7.228	7.080	18.5	7.677	7.496	7.499	7.557	7.998	7.884	7.695	7.859	7.708
0:26:00	5.827	5.668	5.494	5.663	6.218	6.271	6.229	6.239	5.951		6.436	6.275	6.098	6.270	6.833	6.887	6.844	6.855	6.562
0:27:00	5.904	5.804	5.658	5.789	5.877	5.629	5.602	5.703	5.746		6.514	6.413	6.265	6.397	6.487	6.235	6.208	6.310	6.354
0:28:00	6.471	6.602	6.488	6.520	8.535	8.303	8.536	8.458	7.489		7.090	7.223	7.107	7.140	9.186	8.950	9.187	9.107	8.124
0:29:00	5.028	5.132	4.924	5.028	6.340	6.308	6.346	6.331	5.680		5.625	5.731	5.519	5.625	6.957	6.925	6.963	6.948	6.287
0:30:00	6.116	5.937	6.025	6.026	8.280	8.243	6.337	7.620	6.823	19	6.730	6.548	6.637	6.638	8.927	8.889	6.954	8.257	7.447
0:32:00	6.237	6.236	6.269	6.247	7.613	7.371	7.418	7.467	6.857		6.852	6.851	6.885	6.863	8.249	8.004	8.051	8.102	7.482



0:34:00	6.480	6.241	6.141	6.287	7.068	6.850	6.771	6.896	6.592		7.099	6.856	6.755	6.904	7.696	7.475	7.395	7.522	7.213
0:36:00	7.294	7.432	7.185	7.304	5.818	5.888	5.702	5.803	6.553		7.926	8.066	7.815	7.935	6.427	6.498	6.309	6.411	7.173
0:38:00	5.350	5.175	5.328	5.284	5.763	5.981	6.007	5.917	5.601		5.952	5.774	5.930	5.885	6.371	6.593	6.619	6.528	6.206
0:40:00	4.436	4.438	4.415	4.430	6.159	5.941	5.935	6.012	5.221	19	5.024	5.026	5.003	5.017	6.773	6.552	6.546	6.624	5.821
0:42:00	5.657	5.677	5.622	5.652	4.901	5.068	5.067	5.012	5.332		6.264	6.284	6.228	6.258	5.496	5.666	5.665	5.609	5.934
0:44:00	4.336	4.372	4.246	4.318	4.907	5.019	4.968	4.965	4.641		4.922	4.959	4.831	4.904	5.502	5.616	5.564	5.561	5.232
0:46:00	5.197	5.049	5.018	5.088	5.288	5.384	5.301	5.324	5.206		5.797	5.646	5.615	5.686	5.889	5.986	5.902	5.926	5.806
0:48:00	4.888	5.012	4.782	4.894	4.447	4.643	4.547	4.546	4.720		5.483	5.609	5.375	5.489	5.035	5.234	5.137	5.135	5.312
0:50:00	4.653	4.654	4.779	4.695	4.457	4.467	4.331	4.418	4.557	19	5.244	5.245	5.372	5.287	5.045	5.055	4.917	5.006	5.147
0:52:00	5.031	5.065	5.221	5.106	4.693	4.705	4.722	4.707	4.906		5.628	5.662	5.821	5.704	5.285	5.297	5.314	5.299	5.501
0:54:00	5.263	5.145	5.062	5.157	4.815	4.824	4.873	4.837	4.997		5.864	5.744	5.659	5.756	5.409	5.418	5.468	5.431	5.593
0:56:00	4.551	4.460	4.472	4.494	4.535	4.587	4.480	4.534	4.514		5.141	5.048	5.060	5.083	5.124	5.177	5.069	5.123	5.103
0:58:00	4.051	3.843	3.892	3.929	3.728	3.522	3.767	3.672	3.801		4.633	4.422	4.472	4.509	4.305	4.096	4.345	4.249	4.379
1:00:00	3.371	3.451	3.349	3.390	3.418	3.390	3.508	3.439	3.415	19.5	3.943	4.024	3.920	3.962	3.990	3.962	4.082	4.011	3.987
1:05:00	3.148	3.260	3.176	3.195	3.527	3.465	3.515	3.502	3.349	19.5	3.716	3.830	3.745	3.764	4.101	4.038	4.089	4.076	3.920
1:10:00	2.530	2.429	2.545	2.501	2.961	2.801	2.783	2.848	2.675		3.089	2.986	3.104	3.060	3.526	3.364	3.346	3.412	3.236
1:15:00	2.682	2.526	2.460	2.556	3.497	3.514	3.514	3.508	3.032		3.243	3.085	3.018	3.115	4.071	4.088	4.088	4.082	3.599
1:20:00	3.222	3.175	3.253	3.217	2.805	2.925	2.791	2.840	3.029		3.791	3.744	3.823	3.786	3.368	3.490	3.354	3.404	3.595
1:25:00	3.320	3.287	3.326	3.311	3.811	3.845	3.936	3.864	3.588		3.891	3.857	3.897	3.882	4.389	4.424	4.516	4.443	4.162
1:30:00	1.913	1.755	1.697	1.788	2.560	2.718	2.513	2.597	2.193	20	2.462	2.302	2.243	2.336	3.119	3.280	3.071	3.157	2.746
1:35:00	2.476	2.526	2.578	2.527	2.383	2.464	2.412	2.420	2.473		3.034	3.085	3.137	3.085	2.939	3.022	2.969	2.977	3.031
1:40:00	1.585	1.660	1.617	1.621	2.741	2.953	2.940	2.878	2.249		2.129	2.205	2.162	2.165	3.303	3.518	3.505	3.442	2.804
1:45:00	2.163	2.003	2.083	2.083	1.531	1.437	1.439	1.469	1.776		2.716	2.554	2.635	2.635	2.074	1.979	1.981	2.011	2.323
1:50:00	1.966	1.996	2.040	2.001	2.351	2.198	2.284	2.278	2.139	20	2.516	2.547	2.591	2.551	2.907	2.752	2.839	2.833	2.692
1:55:00	2.237	2.235	2.274	2.249	2.422	2.411	2.216	2.350	2.299		2.791	2.789	2.829	2.803	2.979	2.968	2.770	2.906	2.854
2:00:00	2.412	2.383	2.386	2.394	1.596	1.570	1.658	1.608	2.001		2.969	2.939	2.943	2.950	2.140	2.114	2.203	2.153	2.551
2:10:00	1.348	1.291	1.418	1.352	1.167	1.137	1.068	1.124	1.238	20	1.889	1.831	1.960	1.893	1.705	1.674	1.604	1.661	1.777
2:20:00	1.264	1.392	1.071	1.242	1.051	1.014	0.960	1.008	1.125		1.803	1.933	1.607	1.781	1.587	1.550	1.495	1.544	1.663
2:30:00	1.169	1.123	1.028	1.107	0.812	0.840	0.622	0.758	0.932		1.707	1.660	1.564	1.644	1.344	1.373	1.152	1.290	1.467
2:40:00	0.932	0.943	0.979	0.951	0.800	0.892	0.758	0.817	0.884	20	1.466	1.477	1.514	1.486	1.332	1.426	1.290	1.349	1.418
2:50:00	0.456	0.418	0.452	0.442	0.453	0.462	0.445	0.453	0.448		0.983	0.944	0.979	0.969	0.980	0.989	0.972	0.980	0.975
3:00:00	0.407	0.394	0.373	0.391	0.401	0.326	0.401	0.376	0.384		0.933	0.920	0.899	0.917	0.927	0.851	0.927	0.902	0.910
3:20:00	0.049	0.184	0.010	0.081	-0.047	-0.079	-0.011	-0.046	0.018	20	0.570	0.707	0.530	0.602	0.472	0.440	0.509	0.474	0.538
3:40:00	0.191	0.190	0.155	0.179	0.176	0.186	0.188	0.183	0.181		0.714	0.713	0.677	0.701	0.699	0.709	0.711	0.706	0.704
4:00:00	0.031	0.085	0.075	0.064	0.251	0.207	0.235	0.231	0.147		0.551	0.606	0.596	0.585	0.775	0.730	0.759	0.755	0.670
4:20:00	-0.030	-0.087	-0.320	-0.146	0.161	0.183	0.206	0.183	0.019	20	0.490	0.432	0.195	0.372	0.683	0.706	0.729	0.706	0.539
4:40:00	-0.114	-0.016	-0.087	-0.072	-0.104	-0.102	-0.062	-0.089	-0.081		0.404	0.504	0.432	0.447	0.414	0.416	0.457	0.429	0.438
5:00:00	-0.038	-0.036	-0.025	-0.033	-0.098	-0.112	-0.137	-0.116	-0.074	20	0.481	0.483	0.495	0.486	0.421	0.406	0.381	0.403	0.445

ANEXO 9

ESTRUCTURA DE INGRESO: CODO A 90° ENSAYO 3

Fecha: 31-oct-17 Hora inicio: Inyección de trazador: 0.1ml de 232000 ppb
 Hora fin: Temperatura promedio: 21.1 °C
 Caudal de calibración: 11.5 ml/s TRH: 1.6h
 Revoluciones de calibración: 26 rev

Tiempo [min]	Lectura de Fluorómetro (ppb)									TEMP (°C)	Resultado con Ecuación de Calibración (ppb)								
	A1	A2	A3	Promedio A	B1	B2	B3	Promedio B	Promedio A y B	T	RA1	RA2	RA3	Promedio RA	RB1	RB2	RB3	Promedio RB	Promedio RA y RB
0:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0:01:00	-0.954	-1.113	-1.193	-1.087	-0.051	-0.030	0.081	0.000	-0.543	21	-0.449	-0.610	-0.691	-0.583	0.468	0.490	0.602	0.520	-0.032
0:02:00	-1.085	-0.903	-1.018	-1.002	-0.935	-0.915	-0.939	-0.930	-0.966		-0.582	-0.397	-0.514	-0.497	-0.429	-0.409	-0.433	-0.424	-0.461
0:03:00	-0.484	-0.451	-0.436	-0.457	-0.355	-0.345	-0.392	-0.364	-0.411		0.029	0.062	0.077	0.056	0.160	0.170	0.122	0.150	0.103
0:04:00	-1.147	-1.122	-0.970	-1.080	-0.426	-0.458	-0.365	-0.416	-0.748		-0.645	-0.619	-0.465	-0.576	0.087	0.055	0.149	0.097	-0.239
0:05:00	-0.873	-1.043	-0.935	-0.950	-0.826	-0.948	-0.858	-0.877	-0.914	21	-0.366	-0.539	-0.429	-0.445	-0.319	-0.443	-0.351	-0.371	-0.408
0:06:00	-1.083	-1.164	-1.092	-1.113	-0.115	-0.066	-0.088	-0.090	-0.601		-0.580	-0.662	-0.589	-0.610	0.403	0.453	0.431	0.429	-0.091
0:07:00	-1.079	-0.940	-0.977	-0.999	-0.441	-0.461	-0.501	-0.468	-0.733		-0.576	-0.434	-0.472	-0.494	0.072	0.052	0.011	0.045	-0.224
0:08:00	-1.016	-1.231	-0.973	-1.073	-0.889	-0.711	-0.913	-0.838	-0.956		-0.512	-0.730	-0.468	-0.570	-0.383	-0.202	-0.407	-0.330	-0.450
0:09:00	-0.810	-0.887	-0.906	-0.868	0.055	0.186	0.042	0.094	-0.387		-0.302	-0.381	-0.400	-0.361	0.576	0.709	0.563	0.616	0.127
0:10:00	-0.442	-0.509	-0.623	-0.525	-0.314	-0.362	-0.294	-0.323	-0.424	21	0.071	0.003	-0.113	-0.013	0.201	0.152	0.222	0.192	0.090
0:11:00	-0.502	-0.743	-0.736	-0.660	-0.503	-0.455	-0.580	-0.513	-0.587		0.010	-0.234	-0.227	-0.150	0.009	0.058	-0.069	-0.001	-0.075
0:12:00	-0.668	-0.810	-0.706	-0.728	-1.140	-1.050	-0.976	-1.055	-0.892		-0.158	-0.302	-0.197	-0.219	-0.637	-0.546	-0.471	-0.551	-0.385
0:13:00	0.620	0.687	0.565	0.624	-0.638	-0.715	-0.604	-0.652	-0.014		1.149	1.218	1.094	1.154	-0.128	-0.206	-0.093	-0.142	0.506
0:14:00	-0.051	-0.175	-0.109	-0.112	0.196	0.115	-0.002	0.103	-0.004		0.468	0.342	0.409	0.407	0.719	0.637	0.518	0.625	0.516
0:15:00	1.427	1.554	1.447	1.476	0.250	0.255	0.219	0.241	0.859	21	1.969	2.098	1.989	2.019	0.774	0.779	0.742	0.765	1.392
0:16:00	0.606	0.624	0.577	0.602	-0.083	-0.059	0.008	-0.045	0.279		1.135	1.154	1.106	1.132	0.436	0.460	0.528	0.475	0.803
0:17:00	0.754	0.722	0.802	0.759	0.523	0.321	0.300	0.381	0.570		1.286	1.253	1.334	1.291	1.051	0.846	0.825	0.907	1.099
0:18:00	2.224	2.396	2.348	2.323	1.523	1.391	1.578	1.497	1.910		2.778	2.953	2.904	2.878	2.066	1.932	2.122	2.040	2.459
0:19:00	2.792	2.576	2.762	2.710	1.292	1.270	1.321	1.294	2.002		3.355	3.135	3.324	3.271	1.832	1.809	1.861	1.834	2.553
0:20:00	2.616	2.489	2.623	2.576	2.490	2.317	2.479	2.429	2.502	21	3.176	3.047	3.183	3.135	3.048	2.872	3.037	2.986	3.061
0:21:00	4.021	3.992	3.932	3.982	2.028	2.067	1.917	2.004	2.993		4.603	4.573	4.512	4.563	2.579	2.619	2.466	2.555	3.559
0:22:00	1.580	1.728	1.873	1.727	1.733	1.884	1.848	1.822	1.774		2.124	2.274	2.422	2.273	2.280	2.433	2.396	2.370	2.321
0:23:00	4.094	3.984	4.100	4.059	3.199	3.325	3.315	3.280	3.670		4.677	4.565	4.683	4.641	3.768	3.896	3.886	3.850	4.246
0:24:00	5.555	5.670	5.567	5.597	5.467	5.493	5.545	5.502	5.550		6.160	6.277	6.172	6.203	6.071	6.097	6.150	6.106	6.154
0:25:00	7.374	7.346	7.450	7.390	7.641	7.812	7.710	7.721	7.556	21	8.007	7.978	8.084	8.023	8.278	8.452	8.348	8.359	8.191
0:26:00	5.707	5.669	5.911	5.762	6.882	6.914	6.964	6.920	6.341		6.314	6.276	6.521	6.370	7.507	7.540	7.591	7.546	6.958
0:27:00	7.163	7.298	7.124	7.195	6.081	6.154	5.995	6.077	6.636		7.793	7.930	7.753	7.825	6.694	6.768	6.607	6.690	7.257
0:28:00	5.373	5.247	5.364	5.328	6.163	6.238	6.453	6.285	5.806		5.975	5.847	5.966	5.930	6.777	6.853	7.072	6.901	6.415
0:29:00	5.477	5.714	5.624	5.605	6.430	6.480	6.349	6.420	6.012		6.081	6.321	6.230	6.211	7.048	7.099	6.966	7.038	6.624
0:30:00	8.422	8.460	8.321	8.401	7.066	7.089	7.040	7.065	7.733	21	9.071	9.109	8.968	9.050	7.694	7.717	7.668	7.693	8.371
0:32:00	6.089	6.133	6.060	6.094	8.787	8.752	8.874	8.804	7.449		6.702	6.747	6.673	6.707	9.441	9.406	9.530	9.459	8.083
0:34:00	9.368	8.575	9.473	9.139	10.810	10.830	10.910	10.850	9.994		10.031	9.226	10.138	9.798	11.495	11.516	11.597	11.536	10.667



0:36:00	7.623	7.674	7.656	7.651	7.931	7.895	7.882	7.903	7.777		8.260	8.311	8.293	8.288	8.572	8.536	8.523	8.544	8.416
0:38:00	9.927	9.884	10.060	9.957	9.550	9.485	9.833	9.623	9.790		10.599	10.555	10.734	10.629	10.216	10.150	10.503	10.290	10.460
0:40:00	7.444	7.321	7.231	7.332	9.048	8.946	8.816	8.937	8.134	21	8.078	7.953	7.862	7.964	9.706	9.603	9.471	9.593	8.779
0:42:00	8.154	8.083	7.950	8.062	7.658	7.879	7.784	7.774	7.918		8.799	8.727	8.592	8.706	8.295	8.520	8.423	8.413	8.559
0:44:00	7.240	6.837	7.004	7.027	7.440	7.327	7.362	7.376	7.202		7.871	7.462	7.631	7.655	8.074	7.959	7.995	8.009	7.832
0:46:00	8.715	8.869	8.834	8.806	8.058	8.157	8.137	8.117	8.462		9.368	9.525	9.489	9.461	8.701	8.802	8.781	8.762	9.111
0:48:00	7.648	7.583	7.635	7.622	8.591	8.384	8.423	8.466	8.044		8.285	8.219	8.272	8.259	9.242	9.032	9.072	9.116	8.687
0:50:00	8.718	8.692	8.719	8.710	8.171	8.145	8.145	8.154	8.432	21.5	9.371	9.345	9.372	9.363	8.816	8.790	8.790	8.798	9.081
0:52:00	9.667	9.562	9.585	9.605	10.340	10.160	10.040	10.180	9.892		10.335	10.228	10.252	10.272	11.018	10.835	10.714	10.856	10.564
0:54:00	9.350	9.358	9.410	9.373	10.120	10.080	10.130	10.110	9.741		10.013	10.021	10.074	10.036	10.795	10.754	10.805	10.785	10.410
0:56:00	9.035	8.886	8.909	8.943	8.932	8.975	8.960	8.956	8.950		9.693	9.542	9.565	9.600	9.589	9.632	9.617	9.613	9.606
0:58:00	9.106	8.901	8.991	8.999	9.391	9.452	9.481	9.441	9.220		9.765	9.557	9.649	9.657	10.055	10.117	10.146	10.106	9.881
1:00:00	9.309	8.992	9.002	9.101	8.634	8.629	8.448	8.570	8.836	21.5	9.971	9.650	9.660	9.760	9.286	9.281	9.097	9.221	9.491
1:05:00	8.897	8.830	8.875	8.867	8.363	8.658	8.568	8.530	8.699		9.553	9.485	9.531	9.523	9.011	9.310	9.219	9.180	9.352
1:10:00	7.207	7.173	7.291	7.224	8.202	8.273	8.287	8.254	7.739		7.837	7.803	7.923	7.854	8.847	8.920	8.934	8.900	8.377
1:15:00	6.265	6.328	6.358	6.317	6.883	6.770	6.691	6.781	6.549		6.881	6.945	6.975	6.934	7.508	7.394	7.313	7.405	7.169
1:20:00	4.262	4.170	4.384	4.272	7.225	7.159	7.177	7.187	5.730	21.5	4.847	4.754	4.971	4.857	7.856	7.789	7.807	7.817	6.337
1:25:00	5.238	5.347	5.320	5.302	6.697	6.542	6.412	6.550	5.926		5.838	5.949	5.921	5.903	7.319	7.162	7.030	7.171	6.537
1:30:00	4.623	4.740	4.643	4.669	6.247	6.105	6.109	6.154	5.411		5.214	5.333	5.234	5.260	6.863	6.718	6.722	6.768	6.014
1:35:00	4.435	4.265	4.306	4.335	5.165	5.067	5.256	5.163	4.749		5.023	4.850	4.892	4.922	5.764	5.665	5.856	5.762	5.342
1:40:00	4.148	3.958	4.015	4.040	3.300	3.467	3.242	3.336	3.688	21	4.731	4.539	4.596	4.622	3.870	4.040	3.812	3.907	4.265
1:45:00	3.376	3.497	3.510	3.461	3.575	3.593	3.635	3.601	3.531		3.948	4.071	4.084	4.034	4.150	4.168	4.211	4.176	4.105
1:50:00	3.301	3.124	3.140	3.188	2.993	2.921	2.879	2.931	3.060		3.872	3.692	3.708	3.757	3.559	3.486	3.443	3.496	3.626
1:55:00	3.330	3.226	3.446	3.334	2.844	2.722	2.786	2.784	3.059		3.901	3.795	4.019	3.905	3.408	3.284	3.349	3.347	3.626
2:00:00	2.389	2.081	2.245	2.238	1.748	1.769	1.703	1.740	1.989	21	2.946	2.633	2.799	2.793	2.295	2.316	2.249	2.287	2.540
2:10:00	2.264	2.156	2.084	2.168	2.152	2.023	2.013	2.063	2.115		2.819	2.709	2.636	2.721	2.705	2.574	2.564	2.614	2.668
2:20:00	1.266	1.356	1.338	1.320	1.741	1.735	1.693	1.723	1.522		1.805	1.897	1.878	1.860	2.288	2.282	2.239	2.269	2.065
2:30:00	2.277	2.114	2.059	2.150	1.304	1.290	1.293	1.296	1.723		2.832	2.666	2.611	2.703	1.844	1.830	1.833	1.835	2.269
2:40:00	1.197	1.016	1.066	1.093	1.761	1.546	1.666	1.658	1.375	21	1.735	1.552	1.602	1.630	2.308	2.090	2.211	2.203	1.916
2:50:00	1.464	1.321	1.595	1.460	1.439	1.495	1.626	1.520	1.490		2.006	1.861	2.139	2.002	1.981	2.038	2.171	2.063	2.033
3:00:00	1.601	1.673	1.626	1.633	0.793	0.677	0.721	0.730	1.182		2.145	2.219	2.171	2.178	1.325	1.207	1.252	1.262	1.720
3:20:00	0.853	0.848	0.882	0.861	0.679	0.703	0.819	0.734	0.797		1.386	1.381	1.415	1.394	1.209	1.234	1.352	1.265	1.330
3:40:00	0.596	0.505	0.551	0.551	0.701	0.606	0.679	0.662	0.606	21	1.125	1.033	1.079	1.079	1.232	1.135	1.209	1.192	1.136
4:00:00	0.575	0.421	0.388	0.461	0.810	0.877	0.874	0.854	0.658		1.104	0.947	0.914	0.988	1.342	1.410	1.407	1.387	1.188
4:20:00	0.437	0.446	0.422	0.435	0.303	0.219	0.144	0.222	0.329		0.964	0.973	0.948	0.962	0.828	0.742	0.666	0.745	0.854
4:40:00	-0.402	-0.408	-0.398	-0.403	-0.340	-0.321	-0.351	-0.337	-0.370		0.112	0.106	0.116	0.111	0.175	0.194	0.164	0.178	0.144
5:00:00	-0.424	-0.402	-0.442	-0.423	-0.469	-0.511	-0.418	-0.466	-0.444	21	0.090	0.112	0.071	0.091	0.044	0.001	0.096	0.047	0.069

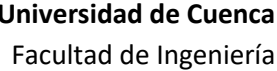


ANEXO 10

CALIBRACION DE BOMBA

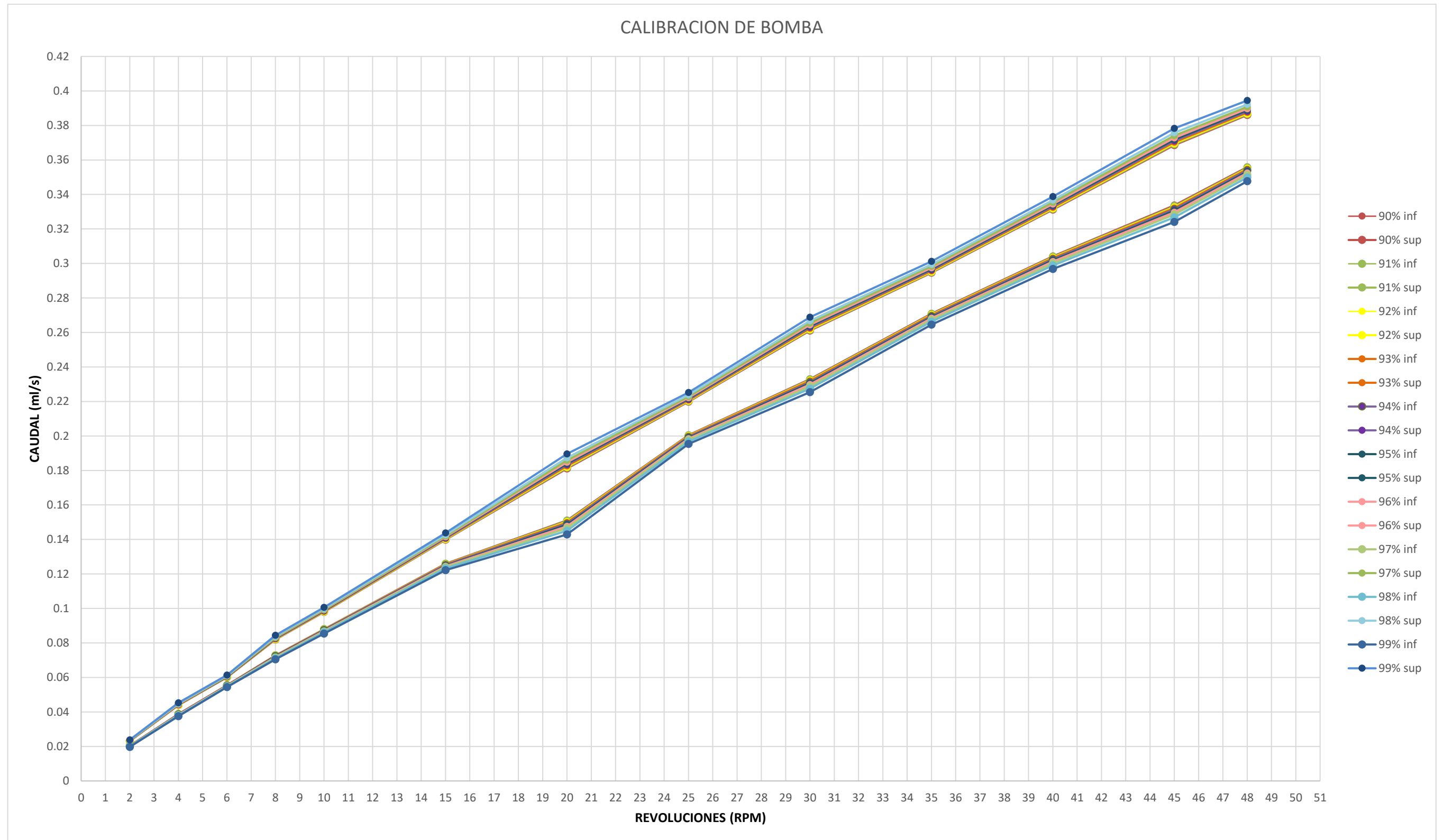
Caudal	Volumen (ml)	50
Características del reactor	Diámetro (m)	0.084
	Altura (m)	0.9
	Área (m2)	0.005542
	Volumen (m^3)	0.004988
	Volumen (l)	4.987592

						NIVEL DE CONFIANZA			NIVEL DE CONFIANZA			NIVEL DE CONFIANZA			NIVEL DE CONFIANZA			NIVEL DE CONFIANZA			NIVEL DE CONFIANZA			NIVEL DE CONFIANZA			NIVEL DE CONFIANZA			NIVEL DE CONFIANZA			NIVEL DE CONFIANZA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
						90%			91%			92%			93%			94%			95%			96%			97%			98%			99%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
RPM	Tiempo (s)	Caudal (ml/s)	PROMEDIO	DESV EST	ERROR STD %	L INF	L SUP	CUMPLE	L INF	L SUP	CUMPLE	L INF	L SUP	CUMPLE	L INF	L SUP	CUMPLE	L INF	L SUP	CUMPLE	L INF	L SUP	CUMPLE	L INF	L SUP	CUMPLE	L INF	L SUP	CUMPLE	L INF	L SUP	CUMPLE	L INF	L SUP	CUMPLE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	2080	0.0240	2.18 E-02	1.95 E-03	0.080	0.020	0.023	NO	0.020	0.023	NO	0.020	0.023	NO	0.020	0.023	NO	0.020	0.023	NO	0.020	0.023	NO	0.020	0.023	NO	0.020	0.024	NO	0.020	0.024	NO	0.020	0.024	NO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	2107	0.0237						NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

93



	157	0.3185	E-01	E-02				SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI																									
	156	0.3205						SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI																									
	164	0.3049						SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI																									
	161	0.3106						SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI																									
	168	0.2976						NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO						
45	128	0.3906	3.51 E-01	2.58 E-02	1.053	0.334	0.369	NO	0.333	0.369	NO	0.333	0.370	NO	0.332	0.370	NO	0.331	0.371	NO	0.331	0.372	NO	0.330	0.373	NO	0.328	0.374	NO	0.327	0.376	NO	0.324	0.378	NO																						
	139	0.3597						SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI		
	137	0.3650						SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
	146	0.3425						SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
	152	0.3289						NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	156	0.3205						NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
48	127	0.3937	3.71 E-01	2.23 E-02	0.909	0.356	0.386	NO	0.356	0.386	NO	0.355	0.387	NO	0.355	0.387	NO	0.354	0.388	NO	0.353	0.389	NO	0.352	0.390	NO	0.351	0.391	NO	0.350	0.392	NO	0.348	0.394	SI																						
	130	0.3846						SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
	128	0.3906						NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	136	0.3676						SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI			SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
	144	0.3472						NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	146	0.3425						NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO			NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO



ANEXO 11

CALIBRACION DE FLUROMETRO

TABLA PARA OBTENCION DE ERROR ESTANDAR					
Concentración teórica	concentración experimental		Máxima Distancia	DESV EST	ERROR STD
417.6	423.5	5.9	11.8	4.42210357	2.21105179
417.6	422.5				
417.6	422				
417.6	417.4				
232.0	232.4	0.4	0.8	6.81542368	3.40771184
232.0	222.8				
232.0	231				
232.0	222				
58.0	57.55	3.87	7.74	2.33146949	1.16573475
58.0	61.87				
58.0	60.5				
58.0	58.56				
34.8	36.46	1.66	3.32	1.12571089	0.56285544
34.8	35.84				
34.8	35.74				
34.8	35.39				
20.7	16.08	-4.58	9.16	4.77570152	2.38785076
20.7	15.79				
20.7	15.72				
20.7	16.12				
6.8	5.751	-0.938	1.876	1.26451878	0.63225939
6.8	5.169				
6.8	5.475				
6.8	5.862				
1.0	0.821	-0.012	0.024	0.1352359	0.06761795
1.0	0.988				
1.0	0.863				
1.0	0.851				

